

**FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA**  
**CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA**  
**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**CARLOS EDUARDO LOPES FEDERIZZI**  
**GUILHERME FIGUEIRA LEMOS BARBOSA**  
**VICTOR HUGO SELVATI**

**PLANO DE PRESERVAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS ARMAZENADOS NO  
GALPÃO ANG-01 NO CANTEIRO DE OBRAS DE ANGRA 3**

**VOLTA REDONDA**

**2019**

**FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA**  
**CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA**  
**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**PLANO DE PRESERVAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS ARMAZENADOS NO  
GALPÃO ANG-01 NO CANTEIRO DE OBRAS DE ANGRA 3**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Mecânica do UniFOA como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Alunos:  
Carlos Eduardo Lopes Federizzi  
Guilherme Figueira Lemos Barbosa  
Victor Hugo Selvati

Orientador:  
Prof.:Dr. Alexandre Fernandes Habibe

**VOLTA REDONDA**  
**2019**

## **TERMO DE APROVAÇÃO**

Carlos Eduardo Lopes Federizzi  
Guilherme Figueira Lemos Barbosa  
Victor Hugo Selvati

### **PLANO DE PRESERVAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS ARMAZENADOS NO GALPÃO ANG-01 NO CANTEIRO DE OBRAS DE ANGRA 3**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à banca examinadora como requisito parcial para obtenção do Bacharelado em Engenharia Mecânica no Centro Universitário de Volta Redonda – UniFOA, defendido e aprovado em \_\_\_ de \_\_\_ de \_\_\_\_\_ pela banca examinadora constituída por:

---

Prof. Dr. Alexandre Fernandes Habibe.  
Orientador

---

Prof. Dr. Alexandre Alvarenga Palmeira.  
Membro

---

Prof. Esp. Antônio de Pádua Sobreira Leal.

## **DEDICATÓRIA**

Este trabalho é dedicado primeiramente a DEUS por mais este sonho realizado.

Dedicamos ainda a todos aqueles que de certa forma nos ajudaram ao longo de toda a nossa caminhada.

Aos nossos pais, familiares, amigos, professores e todos aqueles que torceram por nós.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos a Deus por nos dar saúde e nos permitir alcançar mais esse objetivo em nossas vidas.

Agradecemos também aos nossos familiares, pela compreensão, paciência, apoio e confiança passada nos momentos difíceis.

A todos, os quais, que de forma direta, ou indireta, fizeram parte de nossa caminhada.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Linhas de Umidade Relativa.....	6
Figura 2: Linhas de Umidade Específica .....	7
Figura 3: Linhas de Temperatura de Orvalho .....	8
Figura 4: Linhas de Temperatura de Bulbo Seco.....	9
Figura 5: Linhas de Temperatura de Bulbo Úmido.....	10
Figura 6: Linhas de Entalpia do Ar Seco .....	10
Figura 7: Remoção de calor latente (desumidificação) .....	11
Figura 8: Sistema de resfriamento mecânico .....	12
Figura 9: Sistema de resfriamento por líquido refrigerado .....	14
Figura 10: Sistema de desumidificação com reaquecimento .....	16
Figura 11: Sistema torre de pulverização de líquido.....	20
Figura 12: Gráfico de equilíbrio do sistema torre de pulverização de líquido .....	20
Figura 13: Sistema torre sólida embalada .....	22
Figura 14: Gráfico sistema torre sólida embalada.....	23
Figura 15: Sistema cama horizontal giratória.....	24
Figura 16: Gráfico do sistema cama horizontal giratória .....	25
Figura 17: Sistema cama vertical múltipla .....	26
Figura 18: Sistema Honeycombe® rotativo .....	27
Figura 19: Gráfico do sistema Honeycombe® .....	28
Figura 20: Fluxograma .....	31
Figura 21: Localização do galpão .....	34
Figura 22: Planta do galpão.....	34
Figura 23: Carta Psicrométrica.....	40
Figura 24: Desumidificador Plus 25000 LCD.....	48

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Dados da Ponte Rolante UVST COMPACTA NT – 10 t .....	35
Tabela 2: Dados do Guindaste de Coluna para Edifício da Turbina .....	36
Tabela 3: Dados da Talha Elétrica para o Poço de Selagem Principal.....	37
Tabela 4: Dados da Ponte Rolante UVFT .....	38
Tabela 5: Dados do Pórtico Rolante da Tomada d'água .....	39
Tabela 6: Renovações de ar por hora .....	40
Tabela 7: Características psicrométricas do galpão .....	41
Tabela 8: Dados do Desumidificador.....	48
Tabela 9: Tabela de Inspeção .....	49

## NOMENCLATURA

Q = Vazão em m<sup>3</sup>/h

A = Área

V = volume

N = renovações do ar

M<sub>v</sub> = massa de vapor

D<sub>v</sub> = umidade absoluta (g/m<sup>3</sup>)

TBS = temperatura de bulbo seco

TBU = temperatura de bulbo úmido

T = tonelada

M = metro

C<sub>v</sub> = cavalo vapor

V = volts

Hz = hertz

T = temperatura

Φ = diâmetro

RCS = razão do calor sensível

UR = Umidade relativa

w = Watts

C = capacidade do desumidificador em quilograma por hora (kg/h)

ΔW = variação da razão de mistura

## RESUMO

Numa usina nuclear, onde a prioridade é segurança, todos os protocolos e planos de trabalho devem ser feitos com exatidão. Cada processo deve ser feito buscando sempre a excelência. Isso é levado em consideração desde a montagem de uma usina, até o momento de sua operação. Durante a montagem, todo cuidado é pouco, pois a maioria dos equipamentos não poderão ser acessados novamente com a usina em operação, as vezes por condições de trabalho ou até mesmo por não ter por onde acessar. Levando esse fato em consideração, não pode haver falhas em seus equipamentos, sejam elas pelo motivo que for. Cada material, equipamento e ferramenta utilizada na montagem é analisado se atende ou não ao padrão exigido. Se o mesmo apresentar qualquer tipo de irregularidade, é condenado e não poderá ser utilizado. O objeto de estudo deste trabalho é um galpão denominado “ANG 01” localizado no canteiro de obras de Angra 3, propriedade da Eletrobrás- Eletronuclear. Neste galpão estão armazenados equipamentos mecânicos. Como esses equipamentos estão aguardando a retomada da obra, a qual não tem previsão de retorno, os mesmos devem ser armazenados e preservados para que não haja nenhum problema com esses equipamentos. Por estar bem próximo ao mar, a umidade é muita alta, acelerando processos de oxidação que pode vir a causar corrosão. O objetivo desse estudo foi a criação de um plano de preservação para os equipamentos armazenados e dimensionar um desumidificador para melhorar as condições de umidade no interior do galpão Ang 01.

**Palavras-chave:** Preservação, Umidade, Desumidificador.

## **ABSTRACT**

In a nuclear power plant, where priority is safety, all protocols and workplans must be done accurately. Every process must be done always striving for excellence. This is taken into account from the assembly of a plant until the moment of its operation. During assembly, all caution is minimal, as most of the equipment can not be accessed again with the plant in operation, sometimes due to working conditions or even having no access. Taking this fact into account, there can be no flaws in it's equipment, either for whatever reason. Each material, equipment and tool used in the assembly is analyzed whether or not it meets the required standard. If it presents any type of irregularity, it is condemned and can not be used. The object of study of this work is a shed called "ANG 01" located at the construction site of Angra 3, property of Eletrobrás-Eletronuclear. In this warehouse are stored mechanical equipment. As these equipments are waiting for the work to resume, which has no forecast of return, they must be stored and preserved so that there is no problem with these equipments.

Being very close to the sea, the humidity is very high, accelerating oxidation processes that can cause corrosion. The objective of this study was to create a preservation plan for the stored equipment and to design a dehumidifier to improve the humidity conditions inside the Ang 01 shed.

**Key-words:** Preservation, Humidity, Dehumidifier

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	2
<b>2.1 Manutenção</b> .....	2
<b>2.1.1 Manutenção preventiva</b> .....	3
<b>2.1.2 Preservação</b> .....	4
<b>2.2 Psicrometria</b> .....	5
<b>2.2.1 Carta psicrométrica</b> .....	5
<b>2.2.2 Umidade relativa do ar</b> .....	5
<b>2.2.3 Umidade absoluta</b> .....	6
<b>2.2.4 Ponto de orvalho</b> .....	7
<b>2.2.5 Calor</b> .....	8
<b>2.2.6 Temperatura de bulbo seco</b> .....	8
<b>2.2.7 Temperatura de bulbo úmido</b> .....	9
<b>2.2.8 Entalpia</b> .....	10
<b>2.3 Desumidificação</b> .....	10
<b>2.4 Desumidificador</b> .....	11
<b>2.4.1 Desumidificador com base em resfriamento</b> .....	11
<b>2.4.2 Desumidificadores dessecantes</b> .....	16
<b>2.5 Prevenção à Corrosão</b> .....	29
<b>2.6 Prevenção à Condensação</b> .....	29
<b>3. METODOLOGIA</b> .....	31
<b>3.1 Avaliação da Situação Encontrada</b> .....	32
<b>3.2 Seleção dos Parâmetros e Objetivos Principais</b> .....	32
<b>3.3 Modelagem Física do Problema</b> .....	32
<b>3.4 Modelagem Matemática</b> .....	32
<b>3.5 Seleção das Alternativas</b> .....	32
<b>3.6 Solução Proposta</b> .....	33
<b>4. DESENVOLVIMENTO</b> .....	34
<b>4.1 Dados Gerais</b> .....	34
<b>4.2 Carta Psicrométrica</b> .....	40
<b>4.3 Tabela de Renovações de Ar</b> .....	40
<b>4.4 Memória de Cálculo</b> .....	41
<b>4.4.1 Volume do Galpão</b> .....	41

4.4.2 Vazão de ar .....	41
4.4.3 Quantidade de umidade a ser retirada.....	41
<b>4.5 Plano de Preservação dos Equipamentos Armazenados.....</b>	<b>42</b>
4.5.1 Objetivo.....	42
4.5.2 Aplicação.....	42
4.5.3 Pré-requisitos.....	42
<b>4.6 Relação dos Componentes Armazenados .....</b>	<b>43</b>
<b>4.7 Inspeção e Preservação durante a armazenagem .....</b>	<b>43</b>
<b>5. CONCLUSÃO .....</b>	<b>47</b>
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>50</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O trabalho de preservação em uma indústria é algo extremamente importante e que deve ser levado em conta num projeto de engenharia, seja para um equipamento de grande porte ou uma pequena arruela.

Equipamentos mecânicos que ficam em “*stand by*”, podem vir a sofrer com o processo de oxidação, e que, se não tratado, pode evoluir para uma corrosão onde o mesmo venha a ser condenado.

A preservação desses equipamentos se dá a partir da necessidade individual de cada componente. Alguns destes componentes necessitam serem embalados a vácuo com sílica, outros feito tratamento com “*tectyl*”, “*primes*” ou tintas especiais enriquecidas em zinco e outros mais bastam serem alocados em ambientes climatizados.

Para que não ocorram esses danos, são elaborados projetos específicos de preservação para cada equipamento. A climatização, dentro deste contexto, torna-se um fator de grande relevância em se tratando de preservação. Neste processo, podem ser controladas as seguintes variáveis:

- Temperatura do ar;
- Umidade relativa do ar;
- Movimentação do ar;
- Grau de pureza do ar;
- Nível de ruído admissível;
- Porcentagem ou volume de renovação do ar.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Manutenção

Para garantir a disponibilidade da função dos equipamentos e instalações de modo a atender a um processo de produção e preservação do meio em que ele está inserido com segurança e custos adequados, usa-se a manutenção, conforme (Kardec & Nascif, 2009).

Os departamentos de manutenção nem sempre existiram pois não havia necessidade quando a produção era realizada numa escala muito pequena. A maioria das fábricas antigas, depois de mecanizadas, normalmente empregavam apenas trabalhadores que não tinham qualificação, sendo assim, a maioria dos problemas de manutenção eram deixados para os engenheiros e proprietários. Eles trabalhavam juntos no reparo das máquinas e também na compra de novos equipamentos. Neste momento houveram poucas questões relativas à organização ou motivação de manutenção. No entanto, conforme a tecnologia avançava, mais tipos de máquinas eram disponibilizados e a necessidade de manutenção aumentou. (B. Niebel, 1994)

Visando o aumento gradativo da tecnologia e a automação tomando o lugar do trabalho manual, a responsabilidade da manutenção consequentemente aumenta.

As empresas, incluindo as que trabalham no setor químico, de transporte e energia se conscientizaram com o aspecto da segurança. Para proteção de seus funcionários, começaram a investir em manutenção e assim dando mais importância a ela.

Com acidentes industriais acontecendo, nasceram os primeiros procedimentos de manutenção, e, graças a eles os riscos foram drasticamente reduzidos. O funcionamento de equipamentos foi seguido de perto e diversas críticas em linhas de produção foram evitadas.

Nos dias de hoje, é de se impressionar que as empresas antigamente queriam desenvolver a manutenção por razões humanas e não visavam nenhuma razão econômica.

Neste contexto de evolução e conscientização sobre os riscos ligados ao uso de equipamentos de alto desempenho, foram criadas as primeiras normas de manutenção industrial, na França, em 1980. Com isso, tornou-se necessário treinar pessoas especializadas que seriam capazes de lidar com as questões de manutenção, a fim de evoluir para um modelo mais seguro e eficiente.

Com a evolução dos equipamentos e, por extensão das técnicas, surgiu um contexto de globalização. Entre 1980 e 2000, o mundo industrial mudou em muitas áreas: manutenção, compras, comunicações, produção, qualidade e segurança. Todos tiveram que aprimorar suas

técnicas devido às novas implementações. Quanto à manutenção industrial, se transformou com a chegada de novas abordagens, com a manutenção produtiva, por exemplo, um conceito que se originou diretamente do Japão e revolucionou a abordagem francesa. O setor não teve escolha senão modernizar-se para permitir que as empresas encontrassem seu lugar no mercado e pudessem competir.

Hoje, as empresas procuram se firmar no mercado industrial e provar que dispõem de muitos recursos, contando com o progresso alcançado nos últimos vinte anos. Cada uma delas busca melhorar sua gestão de manutenção, a fim de reduzir as paradas de produção, aumentando assim a qualidade, confiabilidade e produtividade.

Apesar desta vontade de inovação tanto em termos de técnicas como de “*know-how*”, o setor industrial e mais especificamente o de manutenção, enfrenta sérias dificuldades. Este setor é absolutamente essencial e garante o bom funcionamento de uma fábrica, mas ainda luta para atrair os jovens, pois não tem uma imagem muito boa. Cursos de treinamento especializado não são suficientemente destacados, então o campo tem sérias dificuldades para contratar profissionais qualificados.

Entre os inúmeros desafios que o setor de manutenção está enfrentando (incluindo a terceirização, a redução das margens e dos preços), é muito difícil fazer as pessoas entenderem por que essas competências são tão importantes e quão recompensadoras são essas tarefas. As condições de trabalho provavelmente evoluirão, já que todos os setores profissionais estão mudando graças às várias tecnologias que aparecem progressivamente em nossas vidas. Soluções inovadoras de gerenciamento de manutenção industrial já estão tomando forma para ajudar as plantas a enfrentarem problemas muito específicos.

Para permitir que as empresas enfrentem esses vários desafios, surgem soluções no mercado. Graças a esses tipos de aplicativos que são uma ferramenta móvel e de fácil utilização, os usuários podem acessar todas as informações de que precisam rapidamente. Planos de manutenção, gerenciamento de ferramentas, histórico de tarefas, basta um clique para que um técnico tenha uma visão geral das tarefas que foram realizadas em seu serviço.

### **2.1.1 Manutenção preventiva**

A manutenção preventiva é a inspeção sistemática do equipamento, onde problemas são detectados e corrigidos, com o intuito de evitar a pausa forçada do mesmo. Na prática, um cronograma de manutenção preventiva pode incluir itens como lubrificação, trocas de óleo,

limpeza, ajustes, reparos, inspeção e substituição de peças e revisões parciais ou completas.

A manutenção preventiva varia conforme a operação e o tipo de equipamento.

A manutenção preventiva tem significado de maior importância do que executar a manutenção de rotina. Nela também se engloba a manutenção de registros de cada inspeção e manutenção, bem como o conhecimento da vida útil de cada peça para entender a frequência de troca da mesma. Esses registros podem ajudar os técnicos de manutenção a antecipar o tempo apropriado para trocar peças e também podem ajudar a identificar falhas quando ocorrerem. Existem *softwares* de manutenção preventiva que ajudam a coletar e organizar essas informações para que elas estejam prontamente disponíveis para os técnicos de manutenção.

A manutenção preventiva oferece às empresas diversas vantagens, incluindo:

- O aumento da vida útil do equipamento;
- Menos tempo de inatividade não planejado causada por falha de equipamento;
- Menos manutenção e inspeção desnecessárias;
- Menos erros na operação do dia-a-dia;
- Maior confiabilidade do equipamento;
- Menos reparos de alto custo;
- Reduzindo risco de lesão ao equipamento.

Um cronograma de manutenção preventiva evitará todos os possíveis erros dos equipamentos antes que eles ocorram. Isso economizará tempo, reduzirá verba utilizada para esses fins e manterá os serviços em andamento funcionando de maneira eficiente.

A manutenção preventiva é projetada para manter o equipamento funcionando. Ao manter-se a par das tarefas de manutenção, os profissionais de manutenção podem evitar o tempo de inatividade não planejado que, por sua vez, economiza tempo e dinheiro da empresa.

### **2.1.2 Preservação**

Englobada na manutenção preventiva, a preservação é muito importante no setor industrial. É importante pelo fato de que em diversas empresas ocorre de equipamentos que não são usados com muita frequência serem condenados e acabarem sendo descartados.

Obras que por questões burocráticas são embargadas por anos, e equipamentos que são adquiridos precocemente, são vítimas deste risco de perda de material. Por esses motivos,

se faz necessário a criação de um plano de preservação.

A deterioração durante períodos de inatividade é causada por condições diferentes de quando se encontra em atividade. Muitos depósitos onde se armazenam equipamentos inativos ou durante paradas, possuem condições prejudiciais aos mesmos e seus componentes. Dentre essas condições estão: excesso de umidade, poeira, raios ultravioletas, etc.

Cuidados devem ser levados em conta, considerando o tipo de equipamento, seu custo, facilidade de reparo/substituição, período de proteção e taxa de deterioração. De acordo com a necessidade do equipamento um plano de preservação deve ser implementado. Certos equipamentos, por não poderem ficar expostos ao tempo, necessitam serem alocados em locais cobertos, já outros, por serem sensíveis à temperatura e umidade, necessitam de um ambiente climatizado. Componentes como eixos e mancais devem ser sempre lubrificados com óleos e graxas de acordo com a especificação do fabricante.

## **2.2 Psicrometria**

### **2.2.1 Carta Psicrométrica**

De acordo com Macintyre (2005), a carta psicrométrica é onde estão contidas várias grandezas necessárias para se realizar o projeto de instalação de ar condicionado. A carta psicrométrica foi criada com referência a pressão atmosférica ao nível do mar, ou seja, 760mmHg. Há várias cartas psicrométricas existentes, que são publicadas por diversas empresas fabricantes de equipamentos de ar condicionado, entre elas, a Carrier e Trane Company.

De acordo com um ponto de trabalho pré-estabelecido para o projeto, aplica-se o mesmo na carta para definir as outras grandezas do ambiente, como, temperatura de bulbo úmido, umidade específica e entalpia.

### **2.2.2 Umidade Relativa do Ar**

Umidade relativa (RH) é a relação entre a pressão parcial do vapor de água com a pressão de vapor de equilíbrio da água a uma determinada temperatura (figura 1). A umidade relativa depende da temperatura e da pressão do sistema de interesse. A mesma quantidade de vapor de água resulta em umidade relativa mais alta no ar frio do que no ar quente. Um parâmetro relacionado é o do ponto de orvalho.

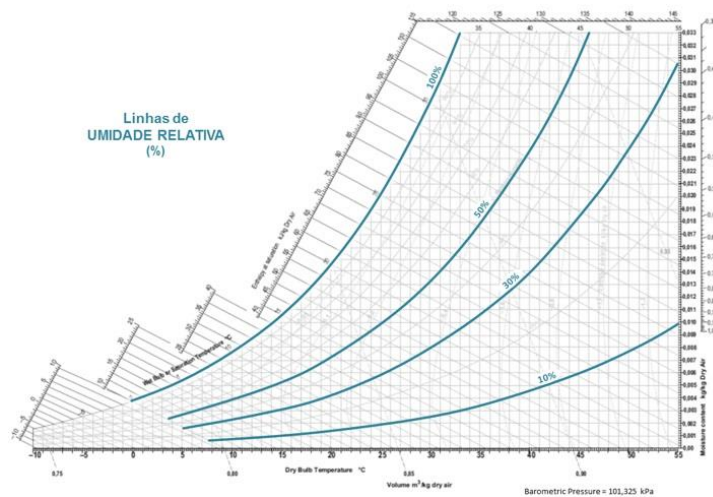


Figura 1: Linhas de Umidade Relativa

Fonte: <http://www.resfriando.com.br/psicrometria-aplicada-a-refrigeracao/>

### 2.2.3 Umidade Absoluta

Umidade absoluta é a concentração de vapor ou densidade no ar (figura 2). Se  $m_v$  é a massa de vapor em um volume de ar, então a umidade absoluta, ou  $d_v$ , é simplesmente  $d_v = m_v / V$ , na qual  $V$  é o volume e  $d_v$  é expresso em gramas por metro cúbico. Este índice indica quanto vapor um feixe de radiação deve passar. O padrão máximo em medição de umidade é feito pesando a quantidade de água obtida por um absorvedor quando um volume conhecido de ar passa por ele.

Esse processo mede a umidade absoluta, que pode variar de 0 grama por metro cúbico em ar seco a 30 gramas por metro cúbico (0,03 onça por pé cúbico) quando o vapor está saturado a 30 ° C. O  $d_v$  de uma parcela de ar muda, no entanto, com temperatura ou pressão mesmo que nenhuma água seja adicionada ou removida, porque, como a equação do gás afirma, o volume  $V$  aumenta com a temperatura absoluta ou Kelvin e diminui com a pressão.

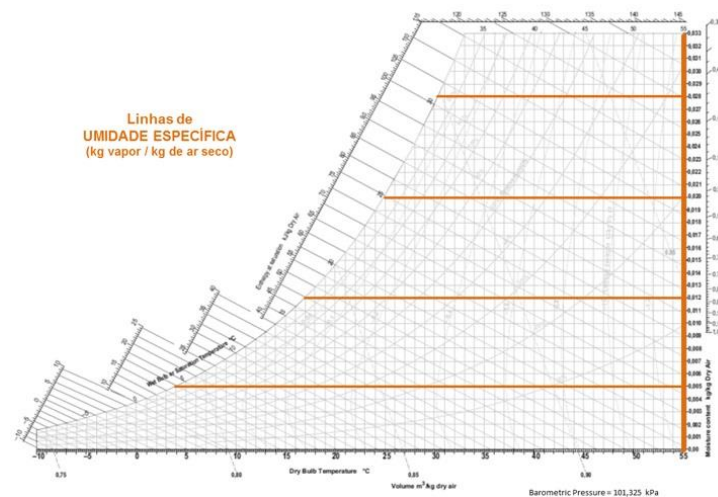


Figura 2: Linhas de Umidade Específica

Fonte: <http://www.resfriando.com.br/psicrometria-aplicada-a-refrigeracao/>

### 2.2.4 Ponto de Orvalho

É definido como sendo a temperatura na qual o ar deve ser resfriado para ficar saturado com vapor de água (figura 3).

Quando o ar atingiu a temperatura do ponto de orvalho a uma determinada pressão, o vapor de água no ar está em equilíbrio com a água líquida, o que significa que o vapor de água está condensando na mesma proporção em que a água líquida está evaporando.

Abaixo do ponto de orvalho, a água líquida começará a condensar em superfícies sólidas (como lâminas de grama) ou ao redor de partículas sólidas na atmosfera (como poeira ou sal), formando nuvens ou neblina. O ponto de orvalho está intimamente ligado à umidade relativa, que é a razão da pressão do vapor de água em uma parcela de ar em relação à pressão de saturação contida no vapor de água nessa mesma parcela de ar em uma temperatura específica.

Em comparação com a umidade relativa, o ponto de orvalho é frequentemente citado como uma maneira mais precisa de medir a umidade e o conforto do ar, já que é uma medida absoluta (diferente da umidade relativa).

A maioria das pessoas está confortável com uma temperatura de ponto de orvalho de 16°C. Em um ponto de orvalho mais alto, a maioria das pessoas se sente quente ou "pegajosa" isso ocorre devida a quantidade de vapor de H<sub>2</sub>O presente no ar, retarda a evaporação da transpiração e impede que o corpo esfrie.

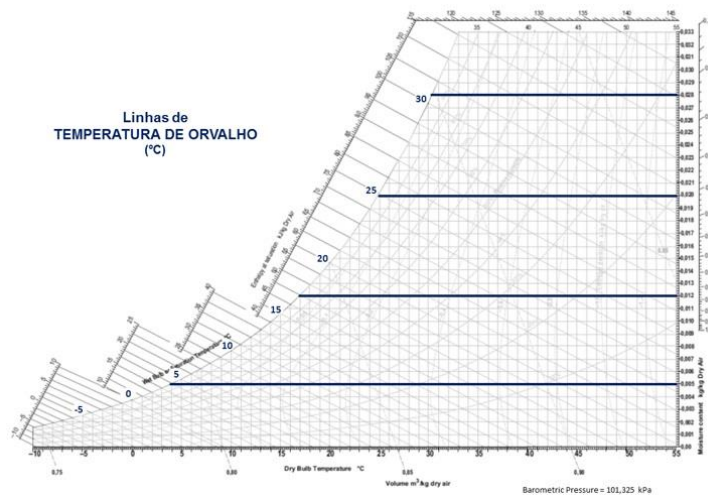


Figura 3: Linhas de Temperatura de Orvalho

Fonte: <http://www.resfriando.com.br/psicrometria-aplicada-a-refrigeracao/>

### 2.2.5 Calor

Como vimos na “lei zero”, que os corpos trocam calor entre si até chegarem a um equilíbrio térmico. Creder (2004) com muita propriedade nos conceitua, com a sequência dos estudos os cientistas chegaram a conclusão que o fenômeno que ocorre na “lei zero” não é uma substância e sim uma “energia” e que ela se transmite do corpo mais quente para o corpo mais frio, viram também que não se transmite só entre si, mas também se transmite para às vizinhanças. Essa energia foi dada o nome de calor de calor sensível e calor latente.

Calor sensível é o calor que sentimos, é o calor que o termômetro comum mede. Calor sensível é o calor que devemos tirar ou acrescentar no ambiente para que consigamos as condições de conforto desejadas, essa mudança de condição é feita através de diferença de temperatura entre o exterior e o interior e pode ser feitas de diversas maneiras, como: por condução, diretamente pelo sol, iluminação, máquinas, etc.

Calor latente é o calor absorvido por um corpo causando a sua mudança de estado, porém sem mudança de temperatura (CREDER, 2004)

### 2.2.6 Temperatura de Bulbo Seco

De acordo com Creder (2004), o tato é a forma mais simples de se conhecer a temperatura, através do sentido do tato podemos verificar se um corpo é mais quente ou mais frio (figura 4).

Podemos ainda através de experiências simples formar conceitos onde dois corpos de temperaturas diferentes, quando estão em contato, tendem a se equalizar termicamente (esse conceito define a “lei zero” da termodinâmica). Concluindo que quando dizemos que dois sistemas estão em equilíbrio termodinâmico, pode-se dizer que eles estão com a mesma temperatura.

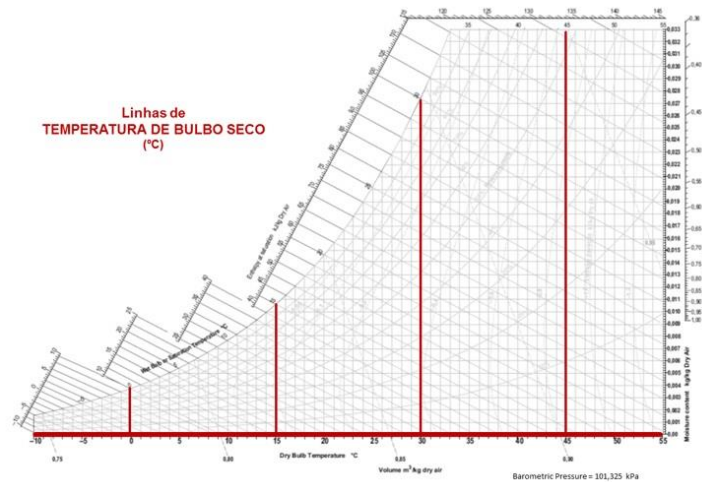


Figura 4: Linhas de Temperatura de Bulbo Seco

Fonte: <http://www.resfriando.com.br/psicrometria-aplicada-a-refrigeracao/>

### 2.2.7 Temperatura de Bulbo Úmido

Segundo Macintyre (2005), a temperatura de bulbo úmido pode ser medida através de um termômetro normal, porém com uma gaze ou um pano limpo e umedecido que é posicionado em torno do bulbo (figura 5). Sendo exposta a uma corrente de ar que causará a evaporação da água e a equalização da temperatura entre a gaze e o termômetro o que se terá como resultado a temperatura de bulbo úmido, essa temperatura é menor comparada à temperatura de bulbo seco. Também pode ser medida através de um psicrômetro.

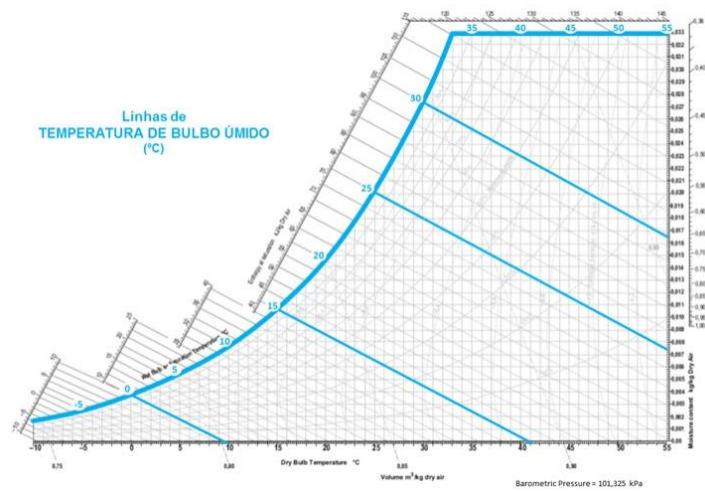


Figura 5: Linhas de Temperatura de Bulbo Úmido

Fonte: <http://www.resfriando.com.br/psicrometria-aplicada-a-refrigeracao/>

## 2.2.8 Entalpia

A entalpia indica o máximo de energia térmica que o ar úmido detém de uma determinada condição (figura 6). Representa uma fração de energia do ar seco e uma fração de energia do vapor d'água.

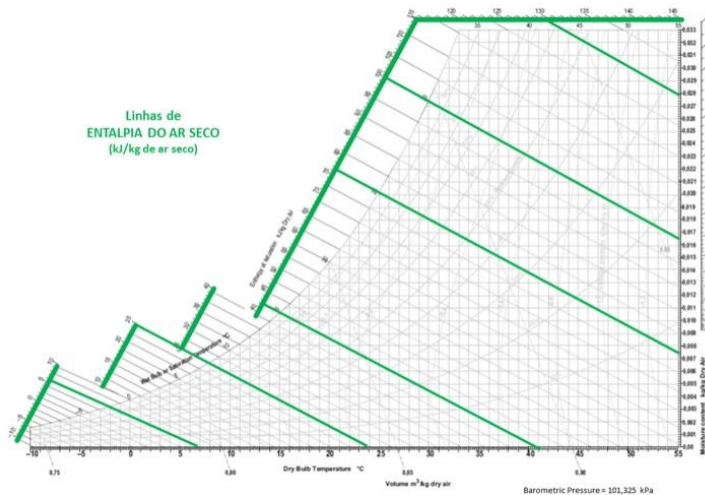


Figura 6: Linhas de Entalpia do Ar Seco

Fonte: <http://www.resfriando.com.br/psicrometria-aplicada-a-refrigeracao/>

## 2.3 Desumidificação

O processo no qual a umidade ou o vapor de água ou a umidade é removida do ar, mantendo sua temperatura constante no bulbo seco (TBS), é chamado de processo de

desumidificação (figura 7). Este processo é representado por uma linha vertical reta no gráfico psicrométrico, partindo do valor inicial da umidade relativa, estendendo-se para baixo e terminando no valor final da umidade relativa. Tal como o processo de umidificação pura, na prática atual o processo de desumidificação pura não é possível, uma vez que a desumidificação é sempre acompanhada de arrefecimento ou aquecimento do ar. (HARRIMAN, Lewis G, 1989)

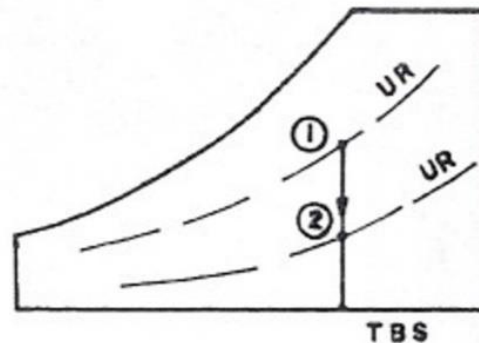


Figura 7: Remoção de calor latente (desumidificação)

Fonte: MACINTYRE, Archibald Joseph. **Ventilação Industrial e Controle de Poluição**. 2.ed. Rio de Janeiro : LTC,2014. p 63.

## 2.4 Desumidificador

Existem três maneiras de remover a umidade do ar: resfriando-a para condensar o vapor de água, aumentando sua pressão total - o que também causa condensação - ou passando o ar sobre um dessecante, que retira a umidade do ar através de diferenças nas pressões de vapor.

### 2.4.1 Desumidificador com base em resfriamento

A maioria das pessoas está familiarizada com o princípio da condensação. Quando o ar é resfriado abaixo da temperatura do ponto de orvalho, a umidade condensa na superfície mais próxima. O ar foi desumidificado pelo processo de resfriamento e condensação. A quantidade de umidade removida depende de quão frio o ar pode ser resfriado - quanto menor a temperatura, mais seco o ar.

Este é o princípio operacional por trás da maioria dos sistemas de ar condicionado comercial e residencial. Um sistema de refrigeração esfria o ar, drena parte de sua umidade como condensado e envia o ar mais frio e seco de volta para o espaço. O sistema bombeia

basicamente o calor do ar desumidificado para uma corrente de ar diferente em outro local, usando o gás refrigerante para transportar o calor (figura 8).

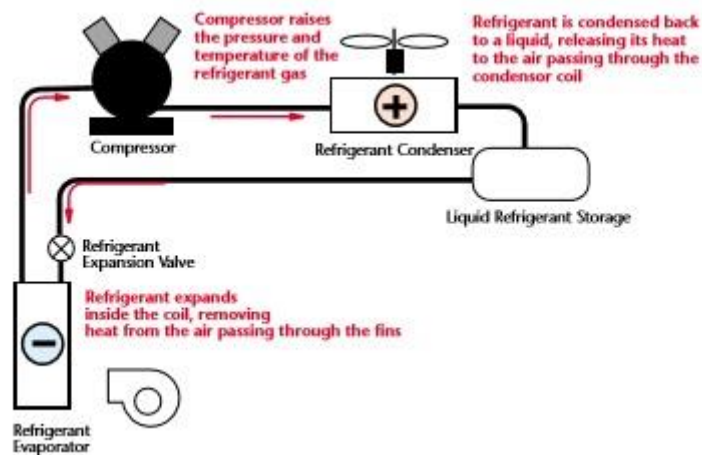


Figura 8: Sistema de resfriamento mecânico

Fonte: HARRIMAN, Lewis G. **The Dehumidification Handbook**. 2.ed. 1989.

O calor é removido do ar desumidificado primeiro transferindo sua energia térmica para um gás em expansão - um refrigerante - que está dentro da serpentina de resfriamento que resfria o ar. Essa bobina é chamada de evaporador, porque dentro da bobina, o refrigerante está evaporando e se expandindo de um líquido para um gás. Para que o gás se expanda dentro da bobina, ele precisa de calor, o que é obtido pelo resfriamento do ar que passa pela bobina.

Da serpentina de resfriamento, o gás refrigerante é enviado para um compressor, onde sua pressão é substancialmente aumentada - 5 a 10 vezes maior do que quando deixou a bobina do evaporador. O gás é, portanto, um volume muito menor, mas a compressão aumentou sua temperatura. Por exemplo, o gás pode ter estado a 15°C depois de ter absorvido o calor do ar no outro lado da serpentina do evaporador, mas após a compressão, o gás refrigerante pode ser de 93°C ou mais. Aquele calor - e o calor do próprio processo de compressão - agora deve ser removido do refrigerante. Isso é feito correndo o gás através de uma segunda bobina.

Essa bobina - chamada de condensador - está localizada fora do espaço condicionado, em um local onde o calor pode ser rejeitado para o ar sem causar problemas. Essas unidades geralmente estão localizadas fora de um prédio ou em um telhado. O refrigerante comprimido e quente condensa de volta a um líquido dentro da bobina, e seu calor - que começou no ar a ser desumidificado - é transferido para o ar no outro lado da serpentina do condensador. O líquido refrigerante resfriado pode agora retornar para a bobina de resfriamento da corrente de ar original. Quando o líquido se expande novamente para um gás dentro da serpentina do evaporador, ele reúne mais calor da corrente de ar e o ciclo se repete.

O processo pode ser muito eficiente. A medida comum de eficiência é o coeficiente de desempenho, que é a energia removida da corrente de ar desumidificada dividida pela energia investida para realizar a transferência para a corrente de ar do condensador. Essa energia de transferência consiste na energia do compressor mais a energia do ventilador que empurra o ar através das duas bobinas. Muitos sistemas de refrigeração acionados eletricamente desfrutam de coeficientes de desempenho de 2,0 a 4,5, o que equivale a dizer que o sistema movimenta de duas a quatro vezes e meia a energia térmica que consome em energia elétrica - uma relação bastante favorável.

A desumidificação através do resfriamento a ar pode ser ilustrada em um gráfico psicrométrico.

Como o ar é resfriado de 70 ° F a 51 °, não há umidade removida. Mas quando o ar está a 51 °, está saturado - 100% de umidade relativa - e se for resfriado ainda mais, sua umidade terá que se condensar fora do ar. Se esfriarmos o ar de 51 ° a 45 °, removeremos 11 grãos de umidade por condensação - o ar foi desumidificado.

O *hardware* real que realiza desumidificação de resfriamento é excepcionalmente diversificado. Literalmente milhares de diferentes combinações de compressores, evaporadores e condensadores estão sendo usados ao redor de todo o mundo. Mas existem três configurações básicas de equipamentos de interesse para projetistas de sistemas de controle de umidade, que incluem:

- Refrigeração direta da expansão;
- Resfriamento por líquido resfriado;
- Desumidificação + reaquecimento.

#### **2.4.1.1 Refrigeração direta da expansão**

Os sistemas de expansão direta usam a configuração do sistema descrita no exemplo anterior. O gás refrigerante se expande diretamente na serpentina de resfriamento a ar, removendo o calor da corrente de ar. Os condicionadores de ar residenciais e os pacotes de resfriamento de teto comerciais são geralmente expansões diretas.

#### **2.4.1.2 Resfriamento por líquido resfriado**

Os sistemas de líquido refrigerado usam o gás refrigerante para resfriar um líquido, que é então circulado através de uma serpentina de resfriamento para resfriar o ar que está sendo

desumidificado (figura 9). Tal maquinário é frequentemente chamado de sistemas de água resfriada, resfriador de glicol ou resfriador de salmoura, de acordo com o fluido resfriado pelo gás refrigerante. Esta é a mesma configuração básica que opera os refrigeradores de água que são tão comuns em edifícios comerciais e institucionais. Embora existam centenas de milhares de pequenos sistemas de resfriadores, como refrigeradores de água, em aplicações de ar condicionado, estes tendem a ser mais complexos e caros do que as alternativas. Como resultado, os sistemas de líquidos refrigerados são mais usados em grandes instalações, onde podem obter vantagens de custo instalado e eficiência operacional em sistemas “DE”.

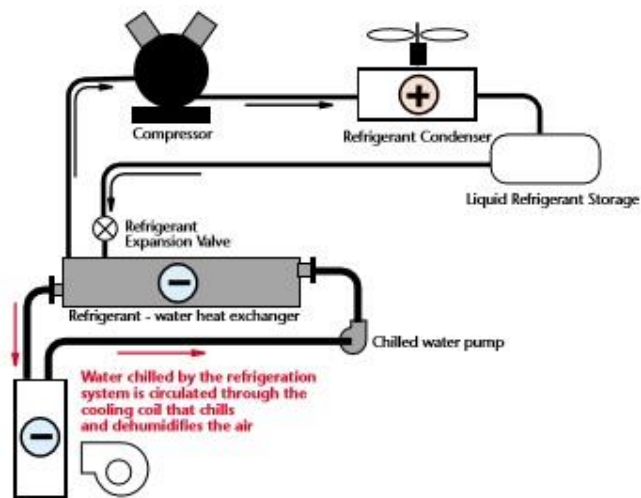


Figura 9: Sistema de resfriamento por líquido refrigerado

Fonte: HARRIMAN, Lewis G. **The Dehumidification Handbook**. 2.ed. 1989.

#### 2.4.1.3 Desumidificação + reaquecimento

Os sistemas de desumidificação-reaquecimento podem usar expansão direta ou líquido resfriado para resfriar o ar, mas após o resfriamento, o ar é reaquecido antes de ser devolvido ao espaço (figura 10). A maioria dos desumidificadores residenciais usam essa configuração. Eles são vendidos em lojas de eletrodomésticos para uso em porões e casas úmidas. Versões comerciais e industriais do sistema de desumidificação-reaquecimento são usadas em piscinas, fornos de madeira e vestiários - ambientes de elevada temperatura e alta umidade. Os sistemas de desumidificação-reaquecimento podem usar as características operacionais fundamentais dos sistemas de resfriamento para obter grande eficiência. Se todas as outras variáveis forem constantes, o processo de resfriamento mecânico será mais eficiente quando:

- A temperatura do ar do condensador estiver baixa.
- A temperatura do ar da serpentina de resfriamento é alta.

Uma configuração típica de um sistema de desumidificação-reaquecimento coloca a bobina do condensador de refrigerante imediatamente a jusante da serpentina de resfriamento. Isso é ideal, pois a baixa temperatura do ar após a serpentina de resfriamento torna o condensador de refrigerante muito eficiente. A energia de aquecimento é essencialmente livre, pois é rejeitada pelo processo de resfriamento. Energia extra cara de fora do processo é minimizada.

Quando o ar que entra é quente e muito úmido, e o ponto de orvalho de saída necessário também é alto, os sistemas de desumidificação-reaquecimento são métodos eficientes e econômicos de remover a umidade do ar. O designer é aconselhado a usar este método sempre que possível. No entanto, algumas limitações da tecnologia aparecem quando o processo de resfriamento congela a umidade do ar, em vez de simplesmente condensá-lo em um líquido.

O condensado congelado causa dois problemas para um sistema de resfriamento. Primeiro, o gelo isola o refrigerante do ar que passa através da bobina, o que reduz a transferência de calor. Em segundo lugar, a geada obstrui fisicamente a bobina, reduzindo o fluxo de ar. Eventualmente, a geada bloqueia o fluxo de ar e a desumidificação cessa. Sistemas que resfriam o ar abaixo de 32 ° F incluem sistemas de descongelamento para derreter o condensado congelado da bobina. Desumidificação e resfriamento param enquanto a bobina descongela.

Os sistemas de desumidificação DX especialmente projetados resfriam o ar a níveis entre 43 e 45 ° F. Abaixo desse ponto, a geada começa a se formar em partes da bobina, espalhando-se lentamente pela bobina à medida que o fluxo de ar se torna restrito. Algumas técnicas de projeto também podem estender o resfriamento abaixo de 43 ° F sem geada, mas o sistema pode se tornar muito difícil de controlar em condições de carga parcial. A dificuldade decorre da tendência do sistema de continuar refrigerando o ar por uma quantidade fixa. Por exemplo, o ar que entra a 75 ° F pode ser resfriado a 55 ° - um diferencial de temperatura de 20 °. Mas se o sistema não for cuidadosamente controlado, parte do ar entrando a 50 ° F será resfriado a 30 °, o que congela a condensação na bobina.

Os sistemas de desumidificação de líquidos refrigerados são mais fáceis de controlar a baixas temperaturas do que os sistemas de refrigeração DX, porque existe uma diferença menor entre o fluido que entra e sai da serpentina de resfriamento. Por exemplo, o resfriador pode fornecer 32 ° F de líquido para a serpentina de resfriamento a ar, que pode retornar ao resfriador

a 40 ° F. Isso pode fornecer uma temperatura média de saída do ar de 35 °. Um sistema de expansão direta, em contraste, pode ter que criar uma temperatura de 20 ° F à medida que o refrigerante se expande na bobina para atingir a mesma condição de ar de saída média de 35 ° F. Isso significa que parte da superfície da bobina ficará abaixo de 32 ° F, e o gelo se formará nesse ponto.

As capacidades específicas de desumidificação dos sistemas de resfriamento são altamente dependentes de especificações de *hardware*, e as generalizações podem ser enganosas. É suficiente para o engenheiro perceber que, embora os sistemas de resfriamento desumidifiquem eficientemente a altas temperaturas, precauções especiais são necessárias ao usar os sistemas de resfriamento para secar o ar abaixo de um ponto de orvalho de 40 ° F.

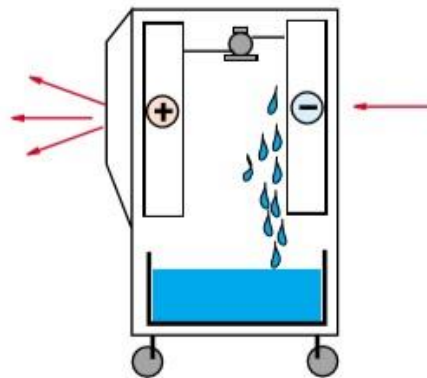


Figura 10: Sistema de desumidificação com reaquecimento

Fonte: HARRIMAN, Lewis G. **The Dehumidification Handbook**. 2.ed. 1989.

#### 2.4.2 Desumidificadores Dessecantes

Os desumidificadores dessecantes são bem diferentes dos desumidificadores à base de resfriamento. Ao invés de resfriar o ar para condensar sua umidade, os dessecadores atraem a umidade do ar criando uma área de baixa pressão de vapor na superfície do dessecante. A pressão exercida pela água no ar é maior, de modo que as moléculas de água se movem do ar para o dessecante e o ar é desumidificado.

Na verdade, a maioria dos materiais sólidos pode atrair umidade. Por exemplo, plásticos como o nylon podem absorver até 6% do seu peso seco em vapor de água. A placa de construção de gesso também pode armazenar uma grande quantidade de vapor de água, e a camada de

óxido nos metais atrai e retém uma pequena quantidade de vapor de água sob as condições certas. A diferença entre esses materiais e os dessecantes comerciais é a capacidade. Os dessecantes projetados para a coleta de vapor de água atraem e retêm de 10 a mais de 10.000% de seu peso seco em vapor de água, onde outros materiais têm uma capacidade de umidade muito menor.

O aspecto fundamental dos dessecantes é sua baixa pressão de vapor na superfície. Uma vez que o dessecante esteja frio e seco, sua pressão de vapor na superfície é baixa e pode atrair a umidade do ar, que tem uma alta pressão de vapor quando está úmida. Depois que o dessecante se umedece e esquenta, sua pressão de vapor na superfície é alta, e ele emitirá vapor de água para o ar circundante. O vapor é movido do ar para o dessecante e vice-versa, dependendo das diferenças de pressão de vapor.

Desumidificadores dessecantes fazem uso de mudanças de pressão de vapor para secar o ar continuamente em um ciclo de repetição descrito pelo diagrama de equilíbrio simplificado à esquerda. O dessecante começa o ciclo no ponto um. Sua pressão de vapor na superfície é baixa porque está seca e fria. Como o dessecante pega a umidade do ar circundante, a superfície dessecante muda para a condição descrita no ponto dois. Sua pressão de vapor é agora igual à do ar ambiente porque o dessecante é úmido e quente. No ponto dois, o dessecante não pode coletar mais umidade porque não há diferença de pressão entre a superfície e o vapor no ar.

Posteriormente, o dessecante é retirado do ar úmido, aquecido e colocado em uma corrente de ar diferente. A pressão de vapor da superfície dessecante é agora muito alta - mais alta que o ar circundante - então a umidade se move da superfície para o ar para equalizar o diferencial de pressão. No ponto três, o dessecante é seco, mas, como está quente, sua pressão de vapor ainda é alta demais para coletar umidade do ar. Para restaurar sua baixa pressão de vapor, o dessecante é resfriado - retornando-o para apontar um no diagrama e completando o ciclo para que a umidade seja coletada novamente.

A energia térmica impulsiona o ciclo. O dessecante é aquecido para retirar a umidade de sua superfície (ponto dois ao ponto três). Em seguida, o dessecante é resfriado para restaurar a baixa pressão de vapor (ponto três ao ponto um). A eficiência do processo melhora quando o dessecante tem alta capacidade de umidade e baixa massa. O desumidificador dessecante ideal teria uma área de superfície infinitamente alta para coletar umidade e uma massa infinitamente baixa, uma vez que a energia necessária de aquecimento e resfriamento é diretamente proporcional à massa do dessecante e a massa da maquinaria que apresenta o dessecante à corrente de ar. Quanto mais pesada for a montagem dessecante em comparação com sua capacidade, mais energia será necessária para alterar sua temperatura - o que resulta em

desumidificação.

Os dessecantes podem ser sólidos ou líquidos - ambos podem acumular umidade. Por exemplo, os pequenos pacotes dentro de caixas de câmeras e caixas de eletrônicos de consumo geralmente contêm sílica gel, um dessecante sólido. Além disso, o trietilenoglicol - um líquido similar ao anticongelante automático - é um dessecante poderoso que pode absorver a umidade. Os dessecantes líquidos e sólidos se comportam da mesma maneira - sua pressão de vapor na superfície é uma função de seu conteúdo de temperatura e umidade.

Uma distinção sutil entre os dessecantes é sua reação à umidade. Alguns simplesmente coletam como uma esponja coleta água - a água é mantida na superfície do material e nas passagens estreitas através da esponja. Esses dessecantes são chamados adsorventes e são principalmente materiais sólidos. A sílica gel é um exemplo de um adsorvente sólido. Outros dessecantes sofrem uma mudança química ou física quando coletam umidade. Estes são chamados de absorventes e geralmente são líquidos ou sólidos que se tornam líquidos à medida que absorvem a umidade. O cloreto de lítio é um sal higroscópico que recolhe vapor de água por absorção, cloreto de sódio - sal de mesa comum - é outro.

Se as funções dessecantes por absorção ou adsorção não são geralmente importantes para um projetista de sistemas, mas a distinção existe e os engenheiros devem estar cientes da diferença entre os dois termos.

Até agora, discutimos como funciona o dessecante. Agora vamos examinar o que acontece com o ar que está sendo desumidificado. Quando a umidade é removida do ar, a reação libera o calor. Isto é simplesmente o inverso da evaporação, quando o calor é consumido pela reação. Em um sistema de desumidificação baseado em resfriamento, o efeito de aquecimento da desumidificação é menos aparente porque o calor é removido imediatamente pela serpentina de resfriamento. Em um sistema de desumidificação dessecante, o calor é transferido para o ar e para o dessecante, de modo que o ar do processo geralmente deixa o desumidificador mais quente do que quando entrou na unidade dessecante.

O aumento de temperatura é diretamente proporcional à quantidade de umidade removida do ar - quanto mais seco o ar deixa o desumidificador, mais quente ele será.

Olhando para o processo em um gráfico psicrométrico, é evidente como a desumidificação dessecante difere da desumidificação baseada em resfriamento. Usando nosso exemplo anterior de entrada de ar no desumidificador a 70 ° F e 50% de umidade relativa, a temperatura do bulbo seco sobe à medida que a umidade cai, de modo que a energia total (entalpia) do ar permanece a mesma. De fato, a energia total na verdade aumenta levemente devido ao calor residual transferido para o ar a partir do processo de regeneração. Em muitas

aplicações - especialmente secagem de produto e armazenamento não aquecido - esta elevação de temperatura do ar seco é desejável. Em outros casos, o calor sensível adicional não é uma vantagem, então o ar seco é resfriado antes de ser entregue ao ponto de uso.

Existem cinco configurações típicas de equipamentos para desumidificadores dessecantes:

- Torre de pulverização de líquido;
- Torre sólida embalada;
- Cama horizontal giratória;
- Cama vertical múltipla;
- *Honeycombe*® rotativo.

Cada configuração tem vantagens e desvantagens, mas todos os tipos de desumidificadores dessecantes foram amplamente aplicados.

#### **2.4.2.1 Torre de pulverização de líquido**

Os desumidificadores de torre de pulverização funcionam como um lavador de ar, exceto que, em vez de água, as unidades pulverizam o líquido dessecante no ar que está sendo seco, o que é chamado de ar de processo (figura 11). O dessecante absorve a umidade do ar e cai em um cárter. O líquido é pulverizado de volta para o ar e continua a absorver a umidade até que um controle de nível indique que ele deve ser ressecado e reconcentrado. Então parte da solução é drenada e circulada através de um aquecedor. O dessecante quente é pulverizado em uma segunda corrente de ar, chamada de reativação do ar. A umidade deixa o dessecante e se move para o ar.

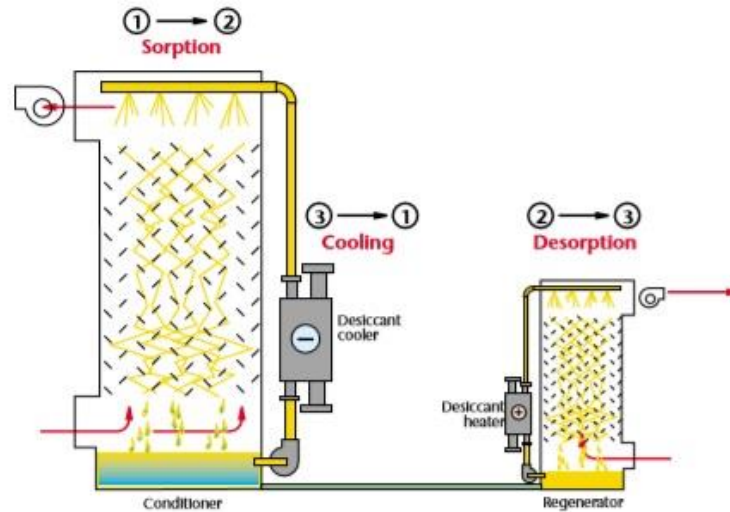


Figura 11: Sistema torre de pulverização de líquido

Fonte: HARRIMAN, Lewis G. **The Dehumidification Handbook**. 2.ed. 1989.

Os números no diagrama (figura 12) mostram como o *hardware* usa características de equilíbrio dessecante para remover a água primeiro do ar do processo e, em seguida, do dessecante. No condicionador, o dessecante absorve água, tornando-se mais quente e subindo na pressão de vapor - movendo-se do ponto 1 para o ponto 2 no gráfico de equilíbrio. O dessecante no poço está no ponto 2 do gráfico - a solução dessecante absorveu uma grande quantidade de água e sua pressão de vapor na superfície é muito alta para atrair mais vapor. À medida que o dessecante diluído passa pelo aquecedor, sua pressão de vapor sobe e, quando é pulverizado no ar de reativação, a alta pressão força a água para fora do dessecante e para o ar. Isso corresponde ao movimento entre o ponto 2 e o ponto 3 no gráfico de equilíbrio.

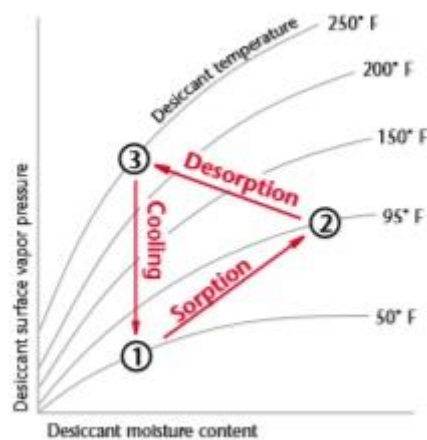


Figura 12: Gráfico de equilíbrio do sistema torre de pulverização de líquido

Fonte: HARRIMAN, Lewis G. **The Dehumidification Handbook**. 2.ed. 1989.

Quando o dessecante retorna do regenerador para o reservatório, ele é seco - concentrado - mas ainda tem uma alta pressão de vapor porque está quente. Para resfriar o dessecante, parte do líquido é retirado do reservatório e circulado por um trocador de calor conectado a um sistema de resfriamento ou torre de resfriamento. O dessecante então se move do ponto 3 para o ponto 1 no gráfico de equilíbrio. Sua pressão de vapor é baixa porque é seca e fria, então pode ser circulada pelo condicionador para absorver mais umidade.

Os desumidificadores da torre de pulverização líquida têm algumas características exclusivamente favoráveis. A desumidificação é termodinamicamente bastante elegante, porque o dessecante é apenas aquecido ou resfriado ao mínimo necessário para realizar a desumidificação necessária. Além disso, quando o processo requer uma umidade constante e a entrada de ar está seca, a água pode ser adicionada à solução dessecante para que o condicionador atue como um umidificador ao invés de um desumidificador. O líquido extra também pode ser regenerado e enviado para um tanque de retenção, fornecendo armazenamento de energia em menos de 20% do espaço de um sistema equivalente de armazenamento de gelo. Além disso, como o dessecante líquido entra em contato com o ar, as partículas são removidas, bem como o vapor de água.

Os desumidificadores de spray líquido são frequentemente organizados em grandes sistemas centrais, em vez de unidades pequenas e independentes para pequenos espaços. Isso ocorre em parte porque elas tendem a ser um pouco mais complexas do que as unidades dessecantes sólidas, mas também porque sistemas grandes podem ser projetados com várias unidades condicionadoras conectadas a um único regenerador. Essa configuração é semelhante a um sistema de refrigeração mecânica com vários evaporadores conectados a um único condensador. Para grandes edifícios com vários sistemas de desumidificação, isso pode ter vantagens de primeiro custo, em detrimento da complexidade dos controles.

As desvantagens potenciais dos sistemas líquidos incluem tempo de resposta, manutenção e custo inicial para unidades menores. Como a solução dessecante pode ser distribuída por um longo sistema de tubulação e um grande reservatório de reserva, o sistema pode levar tempo para responder a cargas internas de umidade que mudam rapidamente ou a diferentes condições de saída necessárias - como ocorre em câmaras de simulação ambiental. Mas a resposta lenta nas condições de saída também significa uma resposta lenta às mudanças de entrada - o que pode ser uma vantagem. Uma grande massa de dessecante recirculante protege um processo interno de mudanças rápidas na umidade do clima.

A manutenção varia, mas alguns dessecantes líquidos são corrosivos e, portanto, precisam de mais atenção. Além disso, em baixos níveis de umidade, alguns dessecantes

líquidos podem secar rapidamente, o que significa que os níveis de líquido devem ser cuidadosamente observados para evitar a solidificação do dessecante.

#### 2.4.2.2 Torre sólida embalada

No desumidificador da torre compactada, dessecantes sólidos como sílica gel ou peneira molecular são carregados em uma torre vertical (figura 13). O ar do processo flui através da torre, deixando sua umidade para o dessecante seco. Depois que o dessecante ficou saturado com a umidade, o ar do processo é desviado para uma segunda torre de secagem e a primeira torre é aquecida e purgada de sua umidade com uma pequena corrente de ar de reativação.

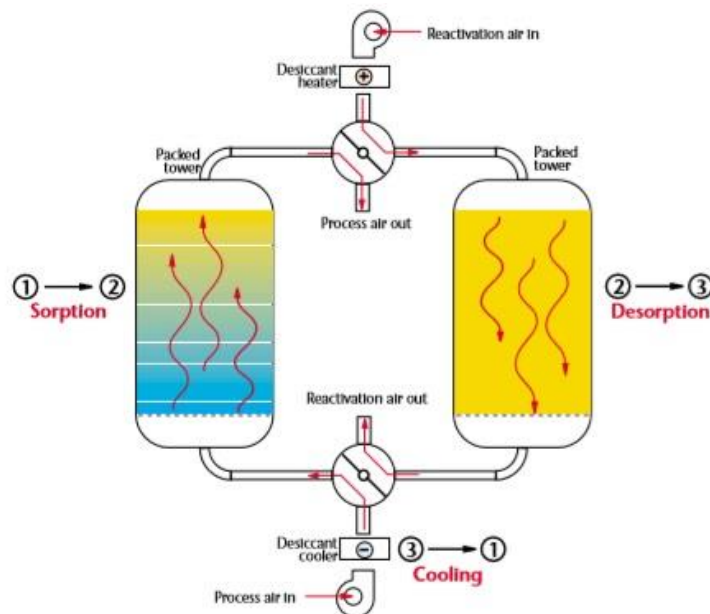


Figura 13: Sistema torre sólida embalada

Fonte: HARRIMAN, Lewis G. **The Dehumidification Handbook**. 2.ed. 1989.

A energia térmica que impulsiona o ciclo de dessecante em uma torre de dessecante sólida é adicionada ao processo por aquecimento e resfriamento da reativação e corrente de ar do processo (figura 14). Em outras palavras, quando o dessecante saturado deve ser aquecido para elevar sua pressão de vapor na superfície (ponto 2 ao ponto 3 no diagrama de equilíbrio), o calor é levado ao dessecante pelo ar de reativação a quente. Da mesma forma, quando o dessecante seco e quente deve ser resfriado para diminuir sua pressão de vapor (ponto 3 ao ponto 1), o ar frio do processo remove o calor do leito.

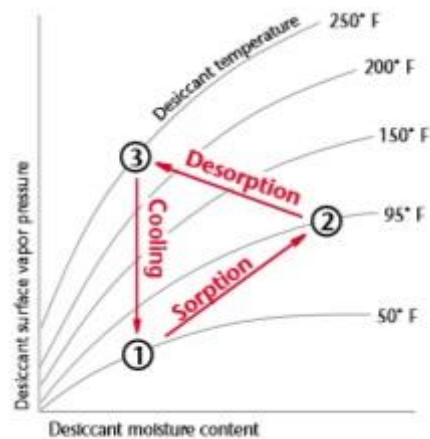


Figura 14: Gráfico sistema torre sólida embalada

Fonte: HARRIMAN, Lewis G. **The Dehumidification Handbook**. 2.ed. 1989.

Como a secagem e a reativação ocorrem em compartimentos selados separados, o desumidificador de torre compactada é frequentemente usado para secar gases de processo pressurizados. De fato, a mesma configuração é usada para secar produtos químicos líquidos, bem como gases. Quando grandes quantidades de dessecante são carregadas nas torres, o processo pode atingir pontos de orvalho muito baixos - em muitos casos abaixo de  $-40^{\circ}\text{F}$ . Os desumidificadores dessecantes para ar comprimido são frequentemente do tipo torre compacta.

Embora a configuração permita pontos de orvalho muito baixos, o design da torre compactada também pode resultar em uma condição de saída variável. Quando o dessecante é exposto pela primeira vez à corrente de ar do processo, ele pode secar o ar profundamente. Mais tarde, quando a capacidade de umidade se enche, o ar não fica tão seco. Se uma condição de saída em mudança causar problemas em um processo, controles podem ser fornecidos para garantir que as torres sejam trocadas antes que a condição de ar do processo se torne muito úmida.

À medida que os requisitos de fluxo de ar do processo se tornam maiores, os desumidificadores de torres compactados ficam muito grandes porque as velocidades do ar geralmente são muito baixas. Baixas velocidades de ar são necessárias por dois motivos. Velocidades elevadas levariam a uma distribuição de ar desigual através do leito, porque o ar úmido "escavaria" através do dessecante. Além disso, a velocidade do ar deve permanecer baixa para evitar o levantamento do dessecante, que então impactaria contra outras partículas e as paredes do vaso desumidificador. O impacto iria fraturar o dessecante, que iria soprar para fora da unidade sob a forma de um pó fino.

Os engenheiros perceberão que esses tipos de unidades são frequentemente usados em fluxos

de ar muito pequenos e com baixo ponto de condensação e em aplicações de secagem de gás de processo. A configuração oferece vantagens compensatórias em situações que compensam as desvantagens de tamanho e consumo de energia que aparecem em aplicações de grande fluxo de ar, maior ponto de orvalho e pressão atmosférica.

### 2.4.2.3 Cama horizontal giratória

Neste dispositivo, o dessecante seco e granular é mantido em uma série de bandejas rasas e perfuradas que giram continuamente entre o processo e as correntes de ar de reativação (figura 15). À medida que as bandejas giram através do ar do processo, o dessecante absorve a umidade. Em seguida, as bandejas giram para a corrente de ar de reativação, que aquece o dessecante, aumentando sua pressão de vapor e liberando a umidade no ar.

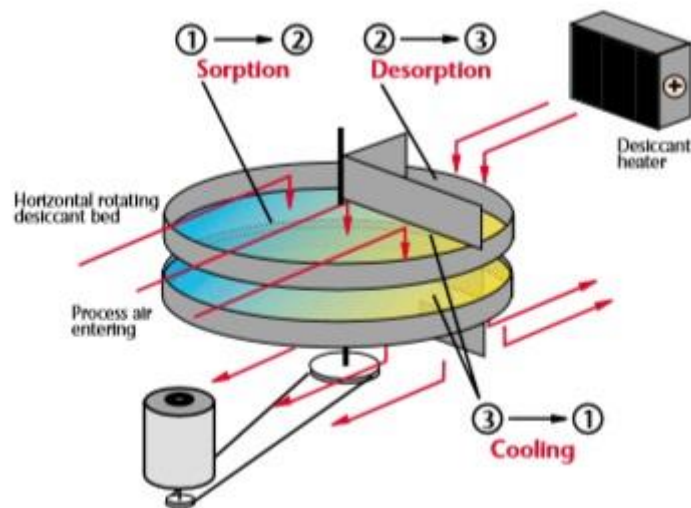


Figura 15: Sistema cama horizontal giratória

Fonte: HARRIMAN, Lewis G. **The Dehumidification Handbook**. 2.ed. 1989.

Como na torre compacta, o processo e a reativação do ar aquecem e resfriam o dessecante para impulsionar o ciclo de adsorção-dessorção. No lado do processo, o dessecante começa a secar - tendo acabado de sair do lado de reativação. Mas o dessecante ainda está quente do processo de reativação. O dessecante é resfriado pelo ar do processo durante os primeiros poucos graus de rotação através do lado do processo (figura 16). Isso corresponde à mudança do ponto 3 para o ponto 1 no diagrama de equilíbrio. Em seguida, o dessecante seca o restante do ar do processo e capta o ponto de umidade 1 para o ponto 2 no diagrama. À medida que as bandejas giram para o ar quente de reativação, o dessecante é aquecido e libera o ponto

de umidade 2 para o ponto 3 no diagrama de equilíbrio.

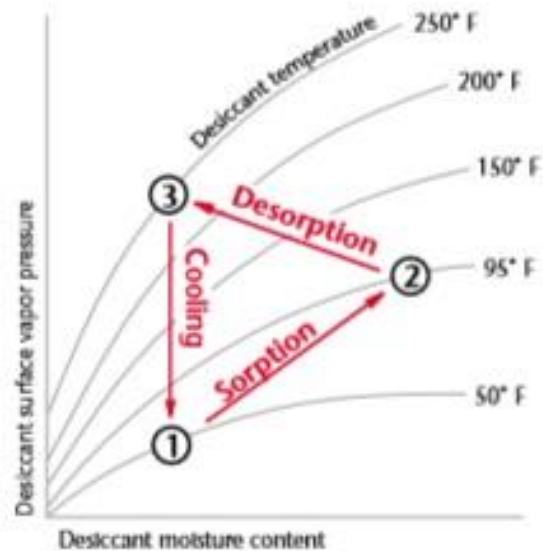


Figura 16: Gráfico do sistema cama horizontal giratória

Fonte: HARRIMAN, Lewis G. **The Dehumidification Handbook**. 2.ed. 1989.

O design é modular. Para aumentar a capacidade, o fabricante pode aumentar o diâmetro das bandejas rotativas, de modo que elas mantenham mais dessecante ou aumentem o número de camas empilhadas umas sobre as outras. Se o dessecante é uniformemente carregado através das bandejas, o leito horizontal rotativo fornece um nível de umidade de saída razoavelmente constante, e uma alta capacidade de fluxo de ar pode ser alcançada em menos espaço do que com uma unidade de duas torres. Por outro lado, uma vez que as bandejas nunca podem ser completamente preenchidas até o topo da cama - o dessecante se acomoda levemente em uso - o ar vaza do lado de reativação úmida para o lado do processo seco dentro da bandeja logo acima do dessecante.

Para evitar esse vazamento, os projetos de leito rotativo geralmente organizam o processo e o fluxo de ar de reativação em uma configuração paralela em vez de contra-fluxo. Isso mantém as pressões mais iguais entre o processo e os lados de reativação da unidade, o que reduz o vazamento e melhora o desempenho. A técnica ainda tem limitações e essas unidades são mais sensíveis às condições de umidade do ar de reativação que outros projetos. Além disso, o arranjo paralelo de fluxos de ar de processo e reativação não é tão eficiente quanto um arranjo de contrafluxo. Como resultado, o consumo de energia de reativação pode ser muito alto para essas unidades em comparação com outros projetos.

Contra essas limitações, o projeto de leito horizontal rotativo oferece um baixo custo

inicial. O design é simples, expansível e fácil de produzir. Embora o dessecante possa fraturar e transportar para a corrente de ar, ele pode ser substituído desmontando as camas para reabastecê-las. Em situações em que o custo da energia não é alto, ou quando não representa uma grande quantidade de dinheiro em termos absolutos - como em desumidificadores pequenos - o baixo custo inicial dessas unidades pode compensar seus altos custos operacionais.

#### 2.4.2.4 Cama vertical múltipla

Nos últimos anos, os fabricantes combinaram as melhores características da torre embalada e dos projetos horizontais de leito rotativo em um arranjo que é bem adequado para aplicações de desumidificação de pressão atmosférica, mas que pode atingir baixos pontos de condensação (figura 17). A torre única ou dupla é substituída por um carrossel circular com oito ou mais torres que giram por meio de um sistema de acionamento de catraca entre o processo e as correntes de ar de reativação.

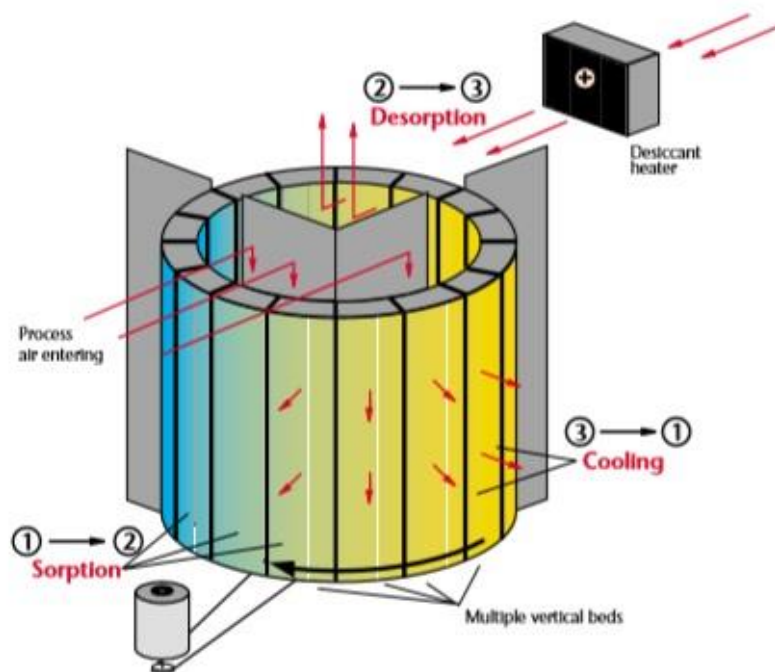


Figura 17: Sistema cama vertical múltipla

Fonte: HARRIMAN, Lewis G. **The Dehumidification Handbook**. 2.ed. 1989.

Como a torre compactada, esse design pode alcançar baixos pontos de orvalho, pois o vazamento entre o processo e os circuitos de ar de reativação é minimizado. Além disso, como os leitos são separados e vedados um do outro, a diferença de pressão entre o processo e a reativação não é tão crítica, de modo que as correntes de ar podem ser organizadas no padrão

de contrafluxo mais eficiente para melhor transferência de calor e massa. Assim como o leito rotativo, a reativação semi-contínua da catraca do dessecante fornece uma condição relativamente constante de umidade do ar de saída no lado do processo, reduzindo o efeito “dente de serra” que pode ocorrer em unidades de torre compactadas.

Esses benefícios são alcançados em detrimento do aumento da complexidade mecânica. Portanto, em comparação com unidades horizontais rotativas, os desumidificadores verticais tendem a ser mais caros e podem exigir mais manutenção. Geralmente, no entanto, essas são pequenas limitações em comparação com as grandes economias em melhorias de energia e desempenho em pontos de orvalho baixos.

#### 2.4.2.5 Honeycombe® rotativo

Outro projeto de desumidificador usa uma roda “*Honeycombe®*” rotativa para apresentar o dessecante ao processo e as correntes de ar de reativação. Às vezes, isso é chamado de desumidificador DEW (*Desiccant Wheel*) (figura 18). O dessecante finamente dividido é impregnado na estrutura semi-cerâmica, que na aparência se assemelha ao papelão ondulado que foi enrolado na forma de uma roda. A roda gira lentamente entre o processo e as correntes de ar de reativação.

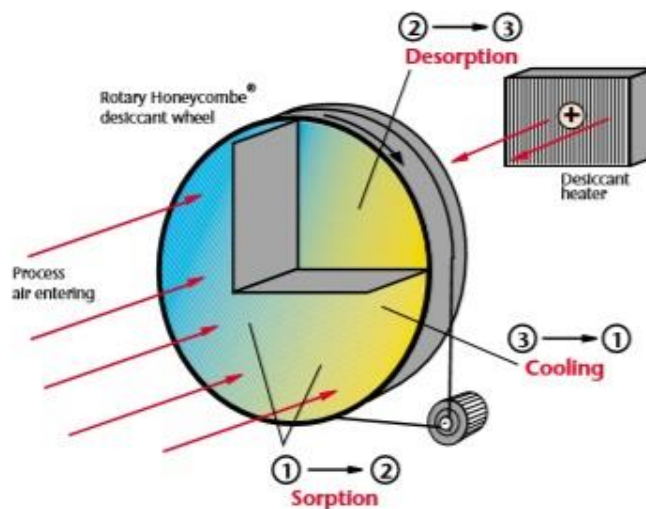


Figura 18: Sistema Honeycombe® rotativo

Fonte: HARRIMAN, Lewis G. **The Dehumidification Handbook**. 2.ed. 1989.

O ar do processo flui através das caneluras formadas pelas ondulações e o dessecante na estrutura absorve a umidade do ar (figura 19). À medida que o dessecante capta a umidade, ele fica saturado e sua pressão de vapor superficial aumenta, o que corresponde à mudança entre o

ponto 1 e o ponto 2 no diagrama de equilíbrio. Então, quando a roda gira na corrente de ar de reativação, o dessecante é aquecido pelo ar de reativação a quente, e a pressão de vapor da superfície aumenta, permitindo que o dessecante libere sua umidade no ar de reativação. Esta é a mudança do ponto 2 para o ponto 3 no diagrama de equilíbrio.

Após a reativação, o dessecante quente gira de volta para o ar do processo, onde uma pequena porção do ar do processo resfria o dessecante para que ele possa coletar mais umidade do restante da corrente de ar do processo. Este é o resfriamento descrito pela mudança entre os pontos 3 e 1 no diagrama de equilíbrio.

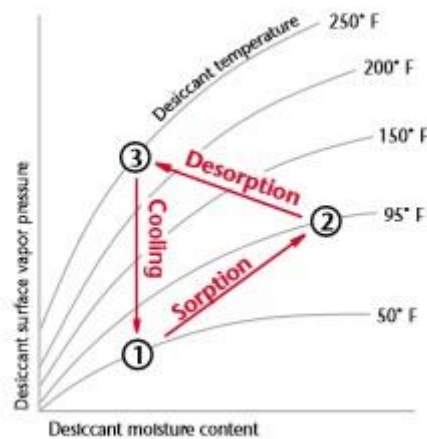


Figura 19: Gráfico do sistema Honeycombe®

Fonte: HARRIMAN, Lewis G. **The Dehumidification Handbook**. 2.ed. 1989.

O design rotativo “*Honeycombe*®” tem várias vantagens. A estrutura é muito leve e porosa. Diferentes tipos de dessecantes - sólidos e líquidos - podem ser carregados na estrutura, o que permite que uma roda seja adaptada para aplicações específicas. Como as canaletas da estrutura são como dutos de ar individuais, revestidos com dessecante, a área de superfície dessecante apresentada ao ar é maximizada mesmo quando o fluxo de ar permanece suave, reduzindo a resistência à pressão do ar em comparação com os leitos embalados. Baixos pontos de orvalho e alta capacidade - normalmente dois objetivos mutuamente exclusivos - podem ser alcançados pela combinação de diferentes dessecantes na mesma roda. E como a massa rotativa total é baixa em comparação com a capacidade de remoção de umidade, o projeto é bastante eficiente em termos energéticos. O design também é bastante simples, confiável e fácil de manter.

Uma preocupação de design com os desumidificadores “*Honeycombe*®” é o custo da roda giratória. A estrutura é eficiente em termos energéticos, mas custa mais para produzir em comparação com os grânulos de dessecante seco. Deve ter cuidado para garantir que a roda não

está danificada. O primeiro custo é aparentemente equilibrado por vantagens operacionais, uma vez que o projeto é o mais amplamente instalado de todas as configurações de desumidificador dessecante em aplicações de pressão ambiente.

## **2.5 Prevenção à Corrosão**

Todos os materiais são corroídos, o que significa que toda substância eventualmente muda de uma forma para outra através de reações químicas. Muitas dessas reações, especialmente aquelas que dependem do oxigênio, são catalisadas e aceleradas pela umidade. Metais ferrosos como ferro e aço são bem conhecidos por sua corrosão na presença de umidade. Menos conhecido é o fato de que o vidro corrói e racha a uma taxa que varia de acordo com a umidade em sua superfície. Cristais puros como iodeto de sódio e fluoreto de lítio também corroem, formando óxidos e hidróxidos em proporção à umidade do ar. No passado, dezenas de milhares de desumidificadores dessecantes foram usados para cercar máquinas e equipamentos com ar seco, preservando as partes metálicas ferrosas da ferrugem pesada.

No presente, os desumidificadores estão trabalhando para proteger os materiais de formas mais sutis e caras de corrosão. A sociedade moderna depende cada vez mais de equipamentos leves, como computadores, equipamentos de telecomunicações, materiais compósitos leves e baterias de alta energia. Enquanto estes são menos sujeitos a ferrugem grossa, eles são muito sensíveis à corrosão microscópica. Esses circuitos simplesmente não têm muito material para começar, então pequenas quantidades de corrosão criam problemas desproporcionalmente grandes. Os sistemas dessecantes economizam aos proprietários centenas de milhões de dólares por ano, evitando a corrosão bruta e microscópica.

## **2.6 Prevenção à Condensação**

Quando as superfícies frias são cercadas por ar úmido, o vapor de água se condensará na superfície como “suor”. Isso pode levar a um número surpreendente de problemas. Por exemplo, os consumidores em um supermercado podem não conseguir ver alimentos congelados em uma vitrine refrigerada com uma porta de vidro. Isso pode significar milhares de dólares em receita perdida. Alternativamente, a condensação pode se formar em membros estruturais ocultos da aeronave à medida que um avião desce da atmosfera superior fria para ambientes úmidos, o que pode acelerar a corrosão sob tensão, encurtando a vida útil da estrutura da aeronave. Em ambos os casos, os desumidificadores são instalados para cercar a superfície

fria com ar seco.

Muitas vezes, o controle de condensação cria oportunidades econômicas em vez de simplesmente impedir um problema. Por exemplo, rolos refrigerados são usados em muitos processos de produção para resfriar filmes finos ou revestimentos. Cobrindo a superfície do rolo com ar seco, a temperatura do líquido refrigerante pode ser muito menor sem causar condensação. Isso significa que o produto pode ser resfriado mais rápido, talvez eliminando a necessidade de uma segunda máquina.

### 3. METODOLOGIA

Visando o controle das etapas de análise de todo o processo abordado, utilizou-se o fluxograma (figura 20), o qual aponta de forma objetiva os pontos importantes desse sistema, desde a análise do projeto existente até o seu aprimoramento.

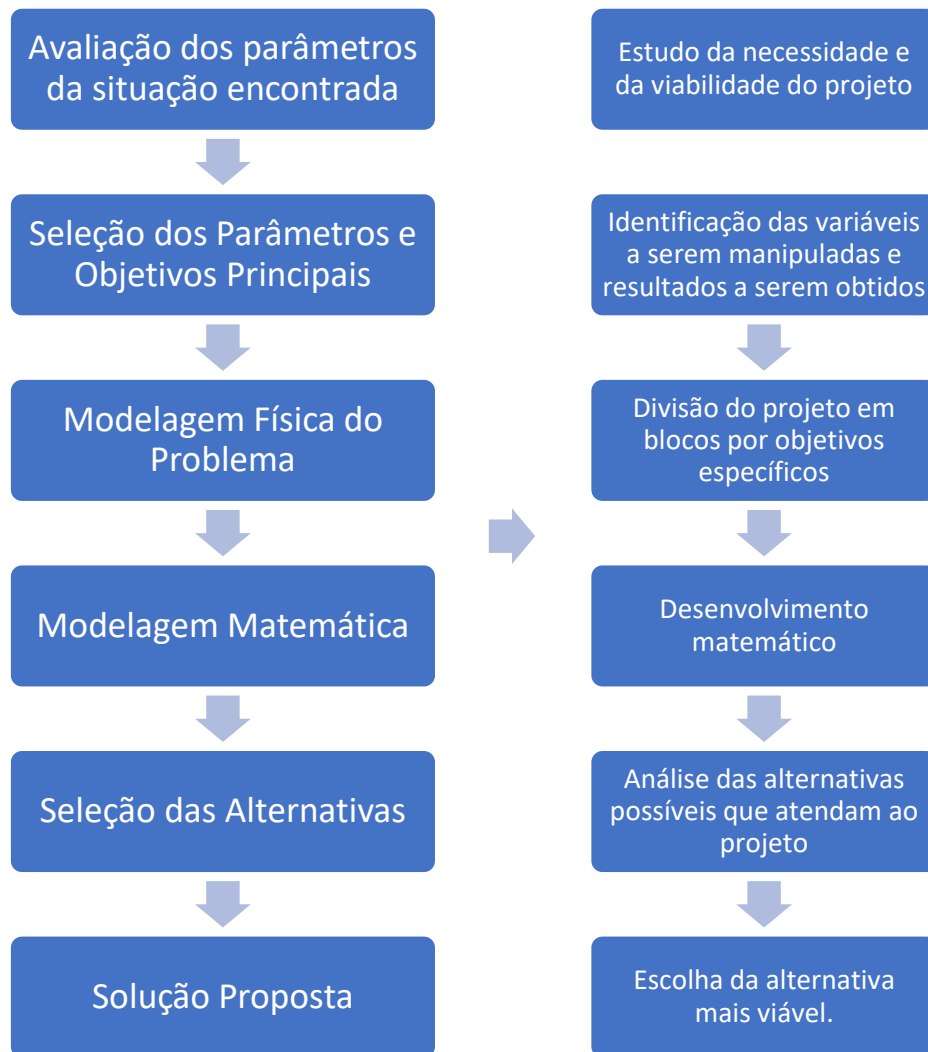


Figura 20: Fluxograma

### **3.1 Avaliação da Situação Encontrada**

Em meio a visitas técnicas para fiscalização da situação de armazenamento e preservação dos equipamentos adquiridos para a Usina Nuclear de Angra 3, foi constatado um galpão, denominado “ANG 01”, o qual armazena equipamentos mecânicos de elevação e transporte.

Foi identificado através do aparelho de medição higrômetro, alta umidade relativa no interior do galpão, sendo prejudicial ao programa de preservação, o que pode ocasionar oxidação das estruturas dos equipamentos.

Os equipamentos não recebem nenhum tipo de procedimento necessário para a preservação de seus componentes durante o período de armazenagem.

### **3.2 Seleção dos Parâmetros e Objetivos Principais**

Será conduzida toda a análise e proposta de melhoria baseada no melhor custo benefício.

O objetivo será garantir melhorias nas condições climáticas no interior do galpão com a redução da umidade relativa do ar, estabelecer atividades de preservação e também a criação de um relatório de inspeção.

### **3.3 Modelagem Física do Problema**

Basicamente este processo divide-se em 3 sistemas:

- Inspeção visual;
- Manutenção preventiva (preservação dos equipamentos);
- Instalação de sistema desumidificante.

### **3.4 Modelagem Matemática**

Para a análise da condição climática presente no interior do galpão, será utilizada a metodologia de cálculos baseada na Carta Psicrométrica e na estimativa de vazão a ser atendida por um equipamento de remoção de umidade.

### **3.5 Seleção das Alternativas**

Tendo como base os resultados da modelagem matemática, será definido o equipamento que melhor atenda às condições dispostas.

### **3.6 Solução Proposta**

Mediante a situação encontrada, será realizado um estudo técnico para a determinação da vazão e da quantidade de água a ser retirada do ar para que se possa reduzir a umidade relativa presente no galpão. Será analisada a condição dos equipamentos armazenados e a necessidade de se implantar um procedimento de preservação.

Com os resultados obtidos na análise matemática ter-se-á condições de dimensionar o equipamento desumidificante adequado ao projeto e através da inspeção visual dos equipamentos armazenados no galpão “ANG 01” a implementação de um plano de manutenção preventiva (preservação).

## 4. DESENVOLVIMENTO

### 4.1 Dados Gerais

O galpão ANG 01 está localizado no canteiro de obras de Angra 3, pertencente a Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto em Itaorna, no município de Angra dos Reis, na região costa verde do Rio de Janeiro. Com altitude ao nível do mar, é uma região que apresenta alto índice de chuva, onde as temperaturas mínimas variam entre 9.4°C (agosto) a 17.1°C (fevereiro) e as temperaturas máximas variam entre 32.8°C (junho) a 39.3°C (fevereiro). Essa região apresenta uma alta umidade relativa com variações de 80% (fevereiro) e 83% (outubro), segundo dados do INMET. O galpão está sendo usado para o armazenamento de equipamentos que farão parte da futura Usina de Angra 3.



Figura 21: Localização do galpão

Fonte: Google Maps

- Área do Galpão

35 metros de comprimento x 14 metros de largura x 7.5 metros de altura

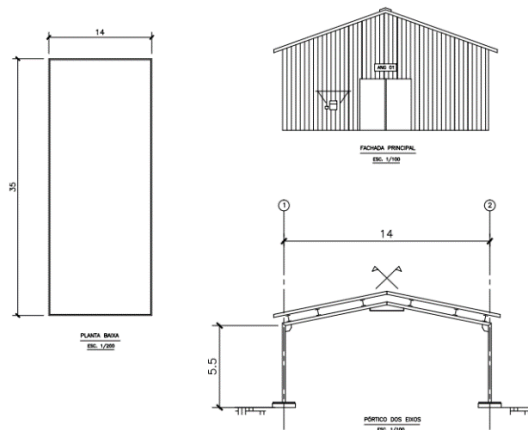


Figura 22: Planta do galpão

Fonte: Os autores

- Dados climáticos:

Ambiente Interno: TBS=29.2°C, TBU=24.97°C, UR=71.1%

- Lista e dados dos equipamentos:

Tabela 1: Dados da Ponte Rolante UVST COMPACTA NT – 10 t

Fonte: BAUMA EQUIPAMENTOS INDUSTRIAIS LTDA

PONTE ROLANTE UVST COMPACTA NT- 1,0 t	
Fabricante: BAUMA EQUIPAMENTOS INDUSTRIAIS LTDA	
Denominação: Estrutura da ponte	
TAG	SMM09-AE001
Modelo Da Ponte	UVST
Modelo Da Talha	Compacta Baixa Altura (Berg-Steel)
Capacidade De Elevação	1,0t
Altura De Elevação	6,4m (Disponível)
Vão Entre Trilhos	5,2 m
Nº x Φ das rodas da ponte	8 x 100 (MR-2)
Norma do mecanismo:	NBR-8400 Grupo 1Am
Temperatura:	Ambiente: 35°
Instalação:	Ao Tempo
Motores:	
Translação:	2 x 0,25 cv – 6 POLOS – CARC7 1ª – FREIO BN-00
Velocidades:	
Translação:	15,8 / 1,58m/min
Características Elétricas	
Tensão de alimentação:	440v – 60 Hz
Tensão de motores:	440v – 60 Hz
Tensão de comando:	220v – 60 Hz
Comando:	
Através de botoeira pendente para translação da ponte e manual por corrente para elevação e direção.	

Tabela 2: Dados do Guindaste de Coluna para Edifício da Turbina

Fonte: BARDELLA S/A INDUSTRIAS MECANICAS

GUINDASTE DE COLUNA PARA EDIFICIO DA TURBINA, CAPACIDADE 5,0t.	
Descrição do componente ou parte (s) do componente: GUINDASTE	
Fabricante: Bardella S/A indústrias mecânicas	
Dados principais	
Instalação	Desabrigada
Temperatura ambiente	35°
TAG	SMQ02-AE001
Modelo De Talha	GT-250/2
Capacidade De Elevação	5,0 t
Altura De Elevação	18 m
N° x $\phi$ de rodas da talha	4 X $\Phi$ 140 (SAE 4140 PARALELA)
N° x $\phi$ de cabos de aço	2 X $\Phi$ 9/16" (CLASSE 6x7 AA/IPS/NÃO ROTATIVO)
Norma	Nbr-8400 Grupo 1Am
Instalação	Abrigada
Especificação técnica do motor	
Elevação	20,0 CV 06 Pólos Carcaça 160L Freio BN-05
Direção	0,5 CV 6 Pólos Carcaça 80q Freio BN-00
Giro	360° MOTORIZADO
Especificação das velocidades do motor	
Elevação	10,8/1,08 m/min
Direção	18,1/4,53 m/min
Giro	16,0/4,0 m/min
Características elétricas	
Tensão de alimentação	440V 60Hz Trifásico
Tensão de comando	220V 60Hz
Comando	Botoeira independente

Tabela 3: Dados da Talha Elétrica para o Poço de Selagem Principal

Fonte: BAUMA EQUIPAMENTOS INDUSTRIAIS LTDA

TALHA ELÉTRICA PARA O POÇO DE SELAGEM PRINCIPAL, CAPACIDADE 5,0 t	
Fabricante: Bauma Equipamentos Industriais Ltda.	
Dados principais	
Instalação	Desabrigada
Temperatura ambiente	35°
TAG	SMQ02-AE001
Modelo De Talha	NT-125/4
Capacidade De Elevação	5,0 t
Altura De Elevação	5,5 m
N° x $\phi$ de rodas da talha	4 X $\Phi$ 140 (SAE 4140 CÓNICA)
N° x $\phi$ de cabos de aço	4 X $\Phi$ 7/16" (CLASSE 6x36 AA/IPS/POLIDO)
Norma	Nbr-8400 Grupo 1Am
Instalação	Abrigada
Especificação técnica do motor	
Elevação	10,0 CV 06 Pólos Carcaça 132M Freio BN-04
Direção	1,0 CV 04 Pólos Carcaça 80q Freio BN-00
Especificação das velocidades do motor	
Elevação	5,6/0,56 m/min
Direção	27,3/6,83 m/min
Características elétricas	
Tensão de alimentação	440V 60Hz Trifásico
Tensão de comando	220V 60Hz
Tensão de motores	440V 60Hz
Comando	Botoeira independente c/ altura ajustável

Tabela 4: Dados da Ponte Rolante UVFT

Fonte: BAUMA EQUIPAMENTOS INDUSTRIAIS LTDA

PONTE ROLANTE ELETRICA UVFT CAP. 16.5 + 16.5/5t	
Descrição do componente: ARRANJO GERAL PONTE ROLANTE ELÉTRICA	
Fabricante: BAUMA EQUIPAMENTOS INDUSTRIAIS LTDA	
Estrutura da ponte	
TAG	SMD03-AE001
Modelo Da Ponte	UVFT
Modelo Da Talha 1 e 2	BS SUPER
Modelo Da Talha 3	ST-5025/8-2 (STAHL)
Capacidade De Elev. Talha 1 e 2	16,5 + 16,5
Capacidade De Elev. Talha 3	5,0t
Capacidade talha de manutenção	0,35t + 0,35t
Altura De Elevação talha 1 e 2	5,25m (Disponível)
Altura De Elevação talha 3 (STAHL)	11,9 m (Disponível)
Altura De Elevação talha manutenção	8,5 m (Disponível)
Vão Entre Trilhos	7,10 m
Nº x $\Phi$ das rodas da ponte	4 x 400 Tipo 1 mm (VHD-20)
Nº x $\Phi$ das rodas carro talha 3 (STAHL)	4 x 120 mm
Nº x $\Phi$ do cabo de aço da talha manut.	2 x (1x7/16") (6x41/IPS/AA)
Norma do mecanismo:	NBR-8400 Grupo 1Am
Temperatura:	Ambiente: 35°
Instalação:	Ao Tempo
Motores:	
Translação:	2 x 0,25 cv – 6 POLOS – CARC7 1ª – FREIO BN-00
Elevação talha 3 (STAHL):	1 x 4,6/1,1 kW
Elevação talha manutenção:	1 x 3,0 cv -8 polos – carc. 132Sa –FREIO BN- 04
Direção talha 3 (STAHL):	2 x 1,0 cv -6 polos – carc. 90Sa-FREIO BN-00
Velocidades:	
Translação:	16,5/1,65 m/min
Elevação talha 1 e 2:	Manual
Elevação talha 3 (STAHL):	5,0/ 1,25 m/min
Elevação talha manutenção:	5,7/ m/min
Direção 1 e 2	Manual
Direção talha 3 (STAHL):	1 x 0,38/ 0,09 kW
Características Elétricas	
Tensão de alimentação:	440v – 60 Hz

Tabela 5: Dados do Pórtico Rolante da Tomada d'água

Fonte: BARDELLA S/A INDUSTRIAIS LTDA

PORTICO ROLANTE DA TOMADA D' ÁGUA – 40T X 20,05M	
Descrição do componente ou parte (s) do componente: CONJUNTO CARRO GUINCHO	
Fabricante: BARDELLA S/A INDUSTRIAS LTDA	
Dados principais	
Modelo do carro guincho	CG-XHT-900/12-2
Capacidade De Elevação	40,0t
Altura De Elevação	20,0m (Disponível)
Vão Entre Trilhos	3,6 m
Nº x Φ das rodas carro guincho	4 x 320mm
Nº x Φ do cabo de aço	12x Φ3/4” – 6x36 – A.F. - IPS
Caminho do rolamento	Trilho 65mm x 60mm – EXTENSÃO 32,0m
Norma do mecanismo	NBR-8400 - 2m
Norma do mecanismo	NBR-8400 - 3
Temperatura:	Ambiente: 35°
Ambiente de trabalho	Desabrigado
Instalação:	Ao Tempo
Motofreios	
Elevação	1 x 40,0 cv – 8 polos – CARC. 225S/M- freio BN- 07
Direção	2 x 1,5 cv – 6 polos – CARC. 905 - freio BN- 02
Velocidades:	
Elevação	3,1/0,31 m/min
Direção	12,4/1,24 m/min
Características Elétricas	
Tensão de alimentação:	440v – 60 Hz trifásico
Tensão de motores:	440v – 60 Hz trifásico
Tensão de comando:	220v – 60 Hz
Tensão de serviços auxiliares	220v – 60 Hz

## 4.2 Carta Psicrométrica

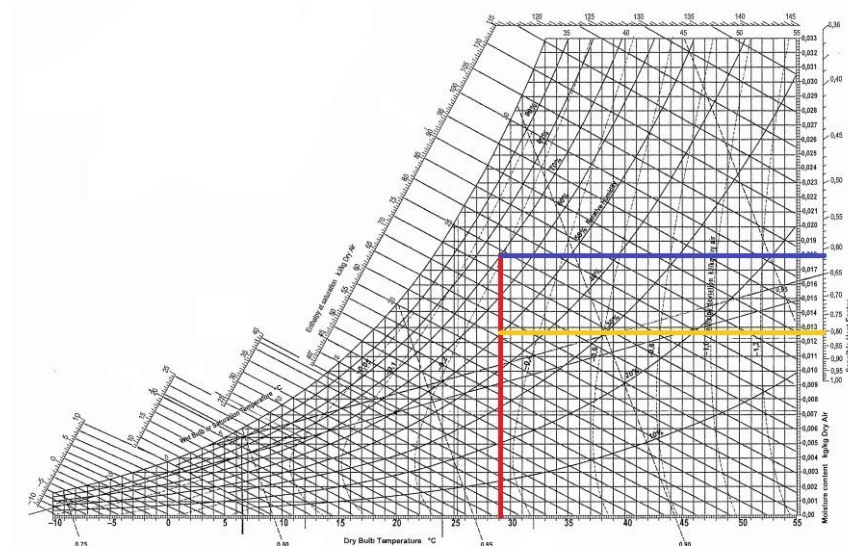


Figura 23: Carta Psicrométrica

Fonte:

## 4.3 Tabela de Renovações de Ar

Tabela 6: Renovações de ar por hora

Fonte: Norma Brasileira Regulamentadora 6401

Tipo de sala ou ocupação	Trocas de ar p/hora	
	Baixa	Alta
Auditório e salas de reuniões	4	30
Padarias e confeitarias	10	60
Fundições (ferrosos)	4	30
Fundições (não-ferrosos)	6	60
Garagem e estacionamentos	3	20
Oficinas mecânicas	6	30
Cozinhas comerciais	10	60
Laboratórios	6	30
<b>Armazéns</b>	<b>2</b>	<b>15</b>
Pequenas oficinas	3	20
Escritórios	2	30
Restaurantes	4	30
Residências	1	6

Pelo fato de não haver ocupação permanente no galpão, serão adotadas 2 renovações de ar por hora para este projeto, o que atende à norma NBR-6401, conforme exposto na tabela acima.

#### 4.4 Memória de Cálculo

##### 4.4.1 Volume do Galpão

$$V = (35 \times 14 \times 5,5) + \left(\frac{14 \times 2,5}{2} \times 35\right)$$

$$V = 3307,5 \text{ m}^3$$

##### 4.4.2 Vazão de ar

$$Q = v \cdot n$$

$$Q = 3307,5 \times 2$$

$$Q = 6615 \text{ m}^3/\text{h}$$

##### 4.4.3 Quantidade de umidade a ser retirada

O objetivo do projeto é reduzir a umidade relativa presente no galpão sem a necessidade de regular sua temperatura pelo fato das atividades serem realizadas semanalmente e por curto período de tempo.

A umidade e a temperatura atuais foram medidas com a utilização de um higrômetro e obteve-se um valor de UR = 70% e T = 29°C. A partir desses valores, com auxílio da carta psicrométrica, obtivemos os seguintes parâmetros:

Tabela 7: Características psicrométricas do galpão

Fonte: Os Autores

	Atual	Objetivo	Unidade
Temperatura de Bulbo Seco	29	29	°C
Temperatura de Bulbo Úmido	24,57	21,14	°C
Ponto de Orvalho	22,97	17,54	°C
Razão de Mistura	0,01803	0,01277	kg de vapor/ kg de ar seco
Umidade Relativa	70	50	%
Umidade Absoluta	0,02	0,015	kg de vapor/ m <sup>3</sup> de ar

Por fim, utilizando a fórmula da capacidade do desumidificador, obteve-se o valor da vazão de água a ser retirada do ar, conforme segue:

$$C = Q \times 1,2 \times (\Delta W)$$

$$C = 6615 \times 1,2 \times (0,01803 - 0,01277)$$

$$C = 42kg/h = 42l/h$$

## **4.5 Plano de Preservação dos Equipamentos Armazenados**

### **4.5.1 Objetivo**

Este procedimento tem por finalidade principal e específica recomendar os cuidados e revisões que deverão ser tomados com os componentes dos equipamentos durante o período de armazenamento e preservação dos mesmos no Canteiro de Obras da Eletronuclear, tendo como referência e sintetizando os requisitos estabelecidos nos procedimentos indicados pelos fornecedores nas Instruções de Preservação e Armazenagem.

### **4.5.2 Aplicação**

Este procedimento deverá ser aplicado nas atividades de preservação que deverão ser realizadas no galpão ANG 01.

### **4.5.3 Pré-requisitos**

Galpão:

- Deve permanecer fechado lateralmente e coberto para proteção contra ventos e chuva;
- O ambiente interno não deve conter umidade excessiva e deve ser isento de poeira, graxa e óleos;
- O ambiente interno não deve emanar gases corrosivos;
- O material não deve conter contato direto com o solo ou com paredes laterais. Deve ser colocado sobre estrados, cavaletes, dormentes de madeira ou similar, de modo a ficar no mínimo 300mm acima do solo. A madeira deve ser impermeabilizada de modo a evitar aglomerações de insetos, roedores, etc;

- O local de armazenagem deve ser plano e deve suportar o peso das peças;

#### **4.6 Relação dos Componentes Armazenados**

- Motores elétricos;
- Freios;
- Cabos elétricos;
- Transformadores;
- Chaves fins de curso;
- Caixas de madeira contendo equipamentos, parafusos, porcas e arruelas não montadas;
- Botoeiras;
- Cabos de aço;
- Discos de freio.

#### **4.7 Inspeção e Preservação Durante a Armazenagem**

Cuidados com os mancais do motor:

- Com motor em inatividade, o peso fornecido pelo eixo do rotor gradualmente faz com que a graxa seja esmagada para fora da área de contato das superfícies deslizantes do rolamento, retirando a película que previne o contato entre as partes metálicas. Evite armazenar motores em lugares sujeitos a prolongadas vibrações;
- Eixos devem ser rodados manualmente, pelo menos uma vez a cada 07 dias, tomando-se cuidado para que não seja repetida a mesma posição do eixo (deverão ser feitas marcações), devendo o mesmo ser posicionado a 90 graus, em relação à posição anterior;
- Apesar, de todas as precauções, a umidade pode condensar dentro e ao redor dos mancais de rolamento;
- Sempre que for verificar um motor armazenado, procure cuidadosamente por sinais de umidade;
- Caso a máquina esteja molhada, verifique sinais de umidade na graxa;
- A graxa que absorveu pingos de água (ou sujeira, naturalmente) deve ser substituída em ambiente limpo.

#### Montagem:

- Faltando trinta dias para que seja feita a montagem mecânica dos motores, a firma responsável pela montagem das máquinas, deverá realizar uma avaliação do relatório elaborado para a inspeção

#### Troca de graxa:

- Caso os dados do relatório sejam satisfatórios, depois de realizada a montagem, deverá ser efetuada a troca completa da graxa dos rolamentos.

#### Freios:

- Nos freios eletromagnéticos, proceder a inspeção visual.

#### Cabos elétricos:

- Os cabos elétricos deverão ser armazenados nas suas respectivas embalagens, devendo-se tomar cuidado no seu manuseio, a fim de não danificar as embalagens;
- Deve ser feita uma inspeção visual periódica, para verificar se os cabos não estão sendo atacados por roedores.

#### Transformador:

- Não é necessária a manutenção periódica além da inspeção visual.

#### Estruturas:

- Na maioria das vezes, durante o transporte e manuseio das estruturas, a pintura sofre escoriações. Para evitar problemas de corrosão é necessário retocar as partes danificadas, antes da armazenagem. Durante a armazenagem, deverá ser feita inspeção mensal. A disposição das estruturas no pátio de estocagem, deve ser tal que evite a retenção de água nas suas superfícies.

#### Redutores:

- Encher a unidade com óleo conforme manual de operação e manutenção até o nível máximo indicado no visor;
- A cada 30 (trinta) dias girar manualmente o eixo redutor, deixando sempre defasado de 90°, em relação à posição anterior;
- Aplicar uma camada de Tectyl, nas pontas de eixo de entrada e saída da unidade;
- Proteger o redutor com lona plástica impermeável;
- Verificar mensalmente a ocorrência de vazamentos e repor conforme necessário.

#### Mancais e tambores

- A cada 30 (trinta) dias girar os eixos, manualmente, algumas voltas a fim de permitir re-lubrificação e deixá-los defasados de 90°, em relação a posição anterior. Proteger com lona plástica.

#### Moitões

- Fazer inspeção visual e proteger com lona plástica.
- A cada 30 (trinta) dias girar o gancho e roldanas, para permitir re-lubrificação

#### Acoplamento de engrenagem

- Lubrificar, antes de armazenagem, caso necessário, com graxa RUST-BAN 326 da ESSO ou similar.

#### Parafusos

- Os parafusos, porcas e arruelas de montagem são embalados em caixas de madeira protegidas com plástico. Dispensam qualquer tipo de manutenção.

#### Roldanas

- A cada 3 (três) meses girar as roldanas manualmente, a fim de permitir a re-lubrificação.

## Cabos de aço

- Os cabos de aço são lubrificados interna e externamente durante o processo de fabricação. Para cabos que permanecerão armazenados por um período longo, deve-se aplicar uma camada de lubrificante tipo “C.6” fabricado pela CIMAF ou similar. O aspecto da camada deve ser verificado semestralmente e caso seja insatisfatório, deverá ser renovada. Esta camada de lubrificante deverá ser removida, antes do cabo ser colocado em serviço, e uma nova camada de lubrificante “C.3” da CIMAF deverá ser aplicada.

## 5. CONCLUSÃO

Em regiões litorâneas, como é o caso do galpão ANG-01, nosso objeto de estudo, é comum nos depararmos com níveis de umidade acima de limites aceitáveis tanto para o bem estar humano como para preservação de equipamentos industriais. Em se tratando de equipamentos industriais ferrosos, o excesso de umidade acelera o processo de oxidação que, se não controlado, pode evoluir rapidamente para corrosão, comumente conhecido como ferrugem. A influência da umidade na ação corrosiva da atmosfera é acentuada, pois sabe-se que o ferro em ambiente de baixa umidade relativa praticamente não sofre corrosão: em umidade próxima a 60% o processo corrosivo é lento porém com valores próximos a 70% se torna acelerado. O tempo de exposição à estas condições é um fator determinante para a evolução do processo corrosivo, e, no caso do nosso projeto, os equipamentos em questão não possuíam data para instalação devido à paralização das obras de Angra 3. Por vezes, equipamentos nestas condições são inutilizados, gerando custos inimagináveis.

Este projeto teve como objetivo desenvolver um plano de preservação para os equipamentos dispostos no galpão ANG-01. Num primeiro momento foi realizada a medição da umidade relativa e da temperatura interna e obtido um valor médio de 70%. Como citado anteriormente, valores próximos a este aceleram o processo corrosivo em metais ferrosos. Com posse desses valores, lançamos mão da carta psicrométrica e cálculos matemáticos a fim de dimensionar um equipamento que reduzisse a umidade relativa a níveis próximos a 50%.

Para a escolha do equipamento, utilizamos as seguintes premissas: aparelho compacto, portátil, baixo consumo de energia, manutenção preventiva simplificada e que não necessitasse de mudança do layout do galpão para sua instalação. Com base nesses requisitos, selecionamos o Desumidificador Plus 25000 LCD da Thermomatic (figura 24). Como a vazão requerida para reduzir a umidade relativa de 70% para 50% é de 960 litros/dia, será necessário a instalação de dois aparelhos.



Figura 24: Desumidificador Plus 25000 LCD

Fonte: <https://www.thermomatic.com.br/desumidificadores-linha-industrial/desumidificador-plus-25000-ldc.html>

Tabela 8: Dados do Desumidificador

Fonte: <https://www.thermomatic.com.br/desumidificadores-linha-industrial/desumidificador-plus-25000-ldc.html>

Volume do ambiente	25.000m <sup>3</sup>
Potência Desumidificador	6.800W
Dimensões	A 184 x L 120 x P 44 cm
Desumidificação	480L/D 30°C 80%UR
Temperatura de trabalho	17°C a 40°C

Como complemento do plano de preservação foi desenvolvido um check list com os principais itens a serem verificados nos equipamentos dispostos no galpão com sua respectiva periodicidade, como segue:

Tabela 9: Tabela de Inspeção

Fonte: Os Autores

Legenda					
(1) Inspeção Visual			(3) Verificar Nível de Óleo		
(2) Giro do Motor 90°			(4) Energização por 10 minutos		
Periodicidade	Semestral	Semanal	Mensal	Mensal	Mensal
<b>Estrutura da Ponte</b>					
Vigas Principais	1				
Vigas de Cabeceira	1				
Partes usinadas	1				
Trilhos	1				
<b>Mecânismo de Trânslação da ponte</b>					
Motor		2			4
Redutor		2	3		
Mancal		2			
Roda Motriz		2			
Freio		2			
Conjunto Roda Livre		2			
<b>Mecanismos de translação do carro</b>					
Motor		2			4
Redutor		2	3		
Mancal		2			
Roda Motriz		2			
Freio		2			
Conjunto Roda Livre		2			
<b>Mecanismo de Elevação</b>					
Motor		2			4
Redutor		2	3		
Mancal		2			
Freio		2			
Tambor		2			
Moitão		2			
Cabo Elétrico		2			
Cabo de aço	1				

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

NIEBEL, B. **Engineering maintenance management (industrial engineering)**. 2.ed. CRC Press., 1994.

KARDEC, A. **Manutenção: função estratégica**. 2.ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009.

CREDER, Hélio. **Instalações de Ar Condicionado**. 6.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2004.

MACINTYRE, Archibald Joseph. **Ventilação industrial e controle da poluição**. 2ª.Ed. Rio de Janeiro: LTC, 1990.

RESFRIANDO. **Psicrometria aplicada a Refrigeração**. Disponível em: <http://www.resfriando.com.br/psicrometria-aplicada-a-refrigeracao/>> 19 mai. 2019, às 11h20min

HARRIMAN, Lewis G. **The Dehumidification Handbook**. 2.ed. 1989.

THERMOMATIC. **Desumidificadores Linha Industrial**. Disponível em: <https://www.thermomatic.com.br/desumidificadores-linha-industrial/desumidificador-plus-25000-ldc.html>> 20 mai. 2019, às 15h30min